



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

PENGARUH TEKANAN GAS PADA METODE *THERMAL ARC SPRAY* TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI PELAPISAN FeCrMnNiCSi PADA *GREY CAST IRON FC 25*

RIFQI TANTYO PUTRA
NRP. 2713 100 138

Dosen Pembimbing

Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.
Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



TUGAS AKHIR - TL141584

**PENGARUH TEKANAN GAS PADA
METODE *THERMAL ARC SPRAY*
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN
MORFOLOGI PELAPISAN FeCrMnNiCSi
PADA *GREY CAST IRON FC 25***

RIFQI TANTYO PUTRA
NRP. 2713 100 138

Dosen Pembimbing:
Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.
Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 141584

**EFFECT OF GAS PRESSURE ON THERMAL ARC
SPRAY METHOD OF MECHANICAL
PROPERTIES AND MORPHOLOGY OF COATING
FeCrMnNiCSi ON GRAY CAST IRON FC 25**

RIFQI TANTYO PUTRA
NRP 2713 100 138

Adisor :
Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng

MATERIALS METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
Pada Bidang Studi Teknologi Manufaktur
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh

RIFQI TANTYO PUTRA

NRP 2713 100 138

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si. (Pembimbing I)

Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng. (Pembimbing II)



PENGARUH TEKANAN GAS PADA METODE *THERMAL ARC SPRAY* TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI PELAPISAN *FeCrMnNiCSi* PADA *GREY CAST IRON FC 25*

Nama : Rifqi Tanyo Putra
NRP : 2713100138
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing : Hariyati Purwaningsih S.Si., M.Si.
Dr. Agung Purniawan, ST. M.Eng

Abstrak

Salah satu komponen penting yang terdapat pada mesin motor bakar adalah silinder liner. Pada silinder liner terjadi proses pembakaran kompresi dan gesekan dengan piston yang menghasilkan energi mekanik. Pada silinder liner terdapat beberapa masalah yang sering timbul salah satunya adalah keausan karena piston yang bergerak bolak-balik secara terus menerus menyebabkan kebocoran gas sehingga tekanan kompresi berkurang. Untuk mencegah kerusakan tersebut maka perlu dilakukan pelapisan logam dengan dengan material yang memiliki ketahanan aus yang lebih baik. Penelitian ini menggunakan material *coating FeCrMnNiCSi* yang di ekspos pada *Grey cast iron FC 25* engan metode pelapisan *thermal arc spray* untuk menganalisis pengaruh variasi udara bertekanan terhadap morfologi dan sifat mekanik. Pada pengamatan hasil SEM tekanan yang semakin tinggi pada proses pelapisan menghasilkan partikel yang semakin kecil sehingga menurunkan porositas. Pengujian kekasaran juga menunjukkan penurunan pada tekanan yang semakin tinggi, pada tekanan 6 bar sebesar 127,333 μm . Pengujian kekerasan mikro yang dihasilkan semakin tinggi dengan titik tertinggi pada tekanan 6 bar menunjukkan nilai sebesar 639,8 HV. Pada variasi tekanan 6 bar juga di peroleh nilai ketahanan abrasi tertinggi yaitu sebesea 29,66 rotasi/mg. Nilai kekuatan adhesi pada varisi tekanan 4 bar menunjukkan nilai yang optimum dibandingkan dengan variasi tekanan lain yaitu sebesar 15,02 MPa.

Kata kunci : *Cylinder Liner, Thermal Arc-spray, Tekanan Proses*

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

EFFECT OF GAS PRESSURE IN THERMAL ARC SPRAY METHOD OF MECHANICAL PROPERTIES AND MORPHOLOGY OF FeCrMnNiCSi COATING ON GRAY CAST IRON FC 25

Name : Rifqi Tanyo Putra
NRP : 2713 100 138
Department : Materials Metallurgical Engineering
Advisors : Hariyati Purwaningsih S.Si., M.Si.
Dr. Agung Purniawan, ST. M.Eng

ABSTRACT

One of the important components in motor fuel engine is cylindrical liner. In the cylinder liner there is a compression and friction combustion process with a piston that produces mechanical energy. In this case there are several problems that often arise one of them is wear because the piston is moving upward and backward continuously causing gas leakage so that compression pressure is reduced. To prevent such damage it is necessary to coat metal with a material that has better wear resistance. This study used FeCrMnNiCSi coating material which is deposited on Gray cast iron FC 25 by a method of thermal arc spray coating to analyze the influence of air pressure variations on morphology and mechanical properties were annliezed. Base on the observation of SEM results the higher pressure on the coating process results in smaller particles thereby decreasing the porosity. Roughness testing also showed a decrease in the higher pressure, at a pressure of 6 bar of 127.333 μm . The the highest result of micro hardness testing is at 6 bar pressure indicating a value of 639.8 HV. In the variation of air pressure 6 bar also obtained the highest abrasion resistance value is 29,66 rotation/mg. The value of adhesion strength in the 4 bar pressure shows the optimum value compared with other pressure variation that is 15.02 MPa.

Keywords: Cylinder Liner, Thermal Arc-spray, Gas Pressure

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir serta menyusun laporan tugas akhir dengan judul **“Pengaruh Tekanan Gas Pada Metode *Thermal Arc Spray* Terhadap Sifat Mekanik Dan Morfologi Pelapisan *FeCrMnNiCsi* Pada *Grey Cast Iron Fc 25*”**. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk melengkapi mata kuliah tugas akhir yang menjadi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Departemen Teknik Material dan Metalurgi - Fakultas Teknologi Industri - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik, diantaranya:

1. Kedua orang tua serta kedua saudara penulis yang telah memberikan banyak doa, dukungan moriil dan materiil, semangat, cinta kasih, motivasi, dan inspirasi kepada penulis.
2. Ibu Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng selaku Kepala Departemen Teknik Material FTI – ITS sekaligus dosen. pembimbing tugas akhir penulis yang telah memberikan ilmu selama pengerjaan tugas akhir.
4. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material FTI-ITS.
5. Bapak Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc. selaku dosen wali yang sangat mengayomi dan memberikan motivasi selama penulis menjalani pendidikan di Departemen Teknik Material FTI-ITS.
6. Tim Dosen Penguji seminar dan sidang tugas akhir, serta seluruh bapak dan ibu dosen dan karyawan di lingkungan

Departemen Teknik Material FTI-ITS yang tak kenal lelah dalam mendidik putra-putri terbaik bangsa ini.

7. Bapak Larasanto serta rekan-rekan CV. Cipta Agung yang membantu proses penelitian.
8. Teman-teman Tugas Akhir lab korosi dan lab metal yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
9. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi angkatan 2013, 2014, dan 2015.
10. Teman-teman para sayap Reggy, Panji, Andika, Ridho, Dio, Aul, Didit, Ahmad, Dony, Yudha, Daru, Gale, dan Kemplo serta teman-teman seangkatan MT 15 yang selalu memberikan dukungan.
11. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, Juli 2017
Penulis,

Rifqi Tantyo Putra
2713100138

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Proses pada Mesin Motor.....	5
2.2 Blok Silinder Mesin	9
2.3 Besi Cor Kelabu	10
2.4 Pelapisan (<i>Coating</i>).....	11
2.5 <i>Thermal Spray</i>	13
2.6 <i>High-velocity oxyfuel (HVOF) powder spray</i>	14
2.7 <i>Plasma arc (PA) powder spray</i>	15
2.8 <i>Oxyfuel wire (OFW) spray</i>	16
2.9 <i>Oxyfuel powder (OFP) spray</i>	17
2.10 <i>Electric Arc Wire Spray</i>	17
2.11 Perbandingan Metode Proses Pelapisan.....	19
2.12 Parameter Proses <i>Electric Arc Spray</i>	20
2.13 Karakteristik coating	21
2.14 Abrasi	21
2.15 <i>Ferrous Chrome Base Coat</i>	23
2.16 Penelitian Sebelumnya	24
BAB III METODOLOGI	
3.1 Diagram Alir	29
3.2 Bahan Penelitian	30
3.2.1 Material Substrat	30
3.2.2 Material Coating	31

3.2.3 Material Grit Blasting	32
3.2.4 Lem <i>Araladite</i>	32
3.3 Alat Penelitian	33
3.4 Metode Penelitian	34
3.4.1 Preparasi Spesimen Grey cast iron FC25	35
3.4.2 Variasi Tekanan Proses Pelapisan	35
3.5 Pengujian	36
3.5.1 Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	37
3.5.2 Pengujian Difraksi Sinar-X (XRD)	38
3.5.3 Ketebalan <i>Coating</i>	39
3.5.4 Pengujian Adhesi <i>Coating</i> Terhadap Substrat	39
3.5.5 Pengujian Abrasi	40
3.5.6 Kekerasan Micro Vickers	41
3.5.7 <i>Surface Roughness Test</i>	42
3.5.8 Pengujian Densitas Porositas	43
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisis Visual	45
4.1.1 Hasil <i>Grit Blasting</i>	45
4.1.2 Hasil Variabel Proses <i>Thermal Arc Spray</i>	45
4.2 Hasil Analisis Pengujian SEM/EDS (Scanning Electron Microscope/ Energy Dispersion Spectroscopy)	46
4.2.1 Morfologi Permukaan Lapisan <i>Coating</i>	46
4.2.2 Morfologi Penampang Lintang dan Ketebalan Lapisan <i>Coating</i>	48
4.2.3 Pengujian EDS (<i>Energy Dispersion Spectroscopy</i>)	50
4.2.4 Analisis Area Poros Menggunakan <i>Software Image J</i> ..	56
4.3 Hasil Pengujian Porositas	59
4.4 Hasil Pengujian Difraksi Sinar X	60
4.5 Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan <i>Coating</i>	63
4.6 Hasil Pengujian Kekerasan Mikro	64
4.7 Hasil Pengujian Kekuatan Lekat	65
4.8 Hasil Pengujian Abrasive	67
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	xxiii
LAMPIRAN	xxv
BIODATA PENULIS	xliv

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Irisan penampang mesin sepeda Motor empat langkah	6
Gambar 2.2 Pemampatan dan pengapian di ruang pembakaran ..	7
Gambar 2.3 Blok Silinder	9
Gambar 2.4 Prinsip dasar thermal spray	13
Gambar 2.5 Skema <i>oxy-fuel spray</i> kecepatan tinggi (HVOF) ...	14
Gambar 2.6 Skema <i>plasma arc (PA) powder spray</i>	15
Gambar 2.7 Skema <i>oxyfuel wire (OFW) spray</i>	16
Gambar 2.8 Skema <i>oxyfuel powder (OFP) spray</i>	17
Gambar 2.9 Skematik yang dihasilkan oleh dua kawat bermuatan listrik meleleh di <i>nozzle</i> dari pistol semprot EAW	18
Gambar 2.10 <i>Standard volumetric flow-rate of the atomizing gas (dry air) as a function of the upstream pressure</i>	19
Gambar 2.11 Mekanisme <i>abrasive wear</i>	22
Gambar 2.12 Diagram Fasa FeCr	24
Gambar 2.13 morfologi permukaan (a) FeSiNiCr spesimen telah dilapisi, (b) FeBCr spesimen telah dilapisi	25
Gambar 2.14 Hasil pengujian SEM penampang lintang (a) pelapisan paduan FeSiNiCr, (b) pelapisan paduan FeBCr	25
Gambar 2.15 Grafik hasil pengujian kekerasan variasi jarak dan sudut pelapisan	27
Gambar 2.16 Porositas, oksida dan kekerasan hasil pelapisan ..	28
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	29
Gambar 3.2 Metoloy 2 (FeCrMnNiCSi) <i>wire</i>	31
Gambar 3.3 Alat <i>Sandblast</i>	34
Gambar 3.4 Proses <i>thermal arc spray</i>	36
Gambar 3.5 Alat Wire Arc Spray	36
Gambar 3.6 <i>Scanning Electron Microscope</i>	37
Gambar 3.7 Mesin XRD PAN <i>analitical</i>	38
Gambar 3.8 Alat Uji Pull-Off	39
Gambar 3.9 Pin-on-disk Tribometer, skema uji ketahanan aus material	40
Gambar 3.10 Mesin uji kekerasan <i>Micro Vickers</i>	42
Gambar 3.11 <i>Surface Roughness Tester</i>	43

Gambar 4.1 Foto makro permukaan substrat (a) sebelum (b) setelah abrasive blasting	45
Gambar 4.2 Pengamatan visual permukaan sampel (a) 3 bar, (b) 4 bar, (c) 5 bar, dan (d) 6 bar	46
Gambar 4.3 Hasil pengamatan SEM permukaan lapisan coating perbesaran 100x. Dengan variasi tekanan udara (a) 3 bar (b) 4 bar (c) 5 bar (d) 6 bar pada nozzle	47
Gambar 4.4 Hasil uji SEM cross-section area perbesaran 500 kali (a) 3 bar (b) 4 bar (c) 5 bar (d) 6 bar	49
Gambar 4.5 Grafik hasil pengukuran ketebalan menggunakan hasil pencitraan SEM	50
Gambar 4.6 Persebaran unsur material coating pada tekanan gas 3 bar	52
Gambar 4.7 Persebaran unsur material coating pada tekanan gas 4 bar	53
Gambar 4.8 Persebaran unsur material coating pada tekanan gas 5 bar	54
Gambar 4.9 Persebaran unsur material coating pada tekanan gas 6 bar	56
Gambar 4.10 Hasil analisa <i>porous surface</i> dengan Imagej variasi tekanan udara pada proses coating (a) 3 bar, (b) 4 bar, (c) 5 bar, (d) 6 bar	57
Gambar 4.11 Grafik presentase <i>porous surface</i> menggunakan software imgae J terhadap tekanan udara pada nozzle	58
Gambar 4.12 Hasil analisa porous surface penampang lintang dengan Imagej variasi tekanan udara pada proses coating (a) 3 bar, (b) 4 bar, (c) 5 bar, (d) 6 bar	58
Gambar 4.13 Grafik presentase <i>porous surface</i> penampang lintang menggunakan software imgae J terhadap tekanan udara pada nozzle	59
Gambar 4.14 Hasil uji XRD material coating FeCrMnNiCS variasi tekanan udara pada proses coating	61
Gambar 4.15 Hasil uji XRD penampang lintang material <i>coating</i> FeCrMnNiCS variasi tekanan udara 3 bar pada proses <i>coating</i> ..	62
Gambar 4.16 Grafik uji kekasaran terhadap tekanan udara pada <i>nozzle</i>	64
Gambar 4.17 Grafik nilai kekerasan permukaan terhadap tekanan udara pada <i>nozzle</i>	65

Gambar 4.18 Grafik kekuatan adhesi terhadap variasi tekanan udara	66
Gambar 4.19 Permukaan hasil pengujian pull off dari hasil pelapisan pada tekanan gas (a) 3 bar, (b) 4 bar, (c) 5 bar dan (d) 6 bar.....	67
Gambar 4.20 Grafik nilai ketahanan aus terhadap variasi tekanan udara	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi material untuk <i>cylinder liner</i>	10
Tabel 2.2 Perbandingan Metode Proses Pelapisan	20
Tabel 2.3 Hasil pengujian surface roughness dengan variasi jarak dan tekanan	26
Tabel 2.4 Kondisi eksperimental stainless steel 316LS wire arc spraying	27
Tabel 3.1 Komposisi kimia <i>Grey cast iron</i> FC25	30
Tabel 3.2 Propertis <i>Grey cast iron</i> FC25	30
Tabel 3.3 Komposisi kimia FeCrMnNiCS wire	31
Tabel 3.4 Propertis Metcoloy 2	31
Tabel 3.5 Komposisi Kimia <i>Brown Aluminum Oxide</i>	32
Tabel 3.6 Propertis <i>Brown Aluminum Oxide</i>	32
Tabel 4.1 Persentase komposisi unsur hasil pengujian EDS	50
Tabel 4.2 Hasil perhitungan presentase porositas densitas.....	59

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mesin bakar dengan menggunakan bensin masih menjadi pilihan utama untuk di gunakan pada kendaraan. Menurut AISI (Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia) jumlah sepeda motor yang terjual pada tahun 2016 adalah sebesar 5,931,585 unit. Pada dasarnya mesin motor mengubah energi kimia menjadi panas hasil pembakaran bahan bakar. Panas yang timbul karena adanya pembakaran itulah yang dipergunakan untuk menggerakkan kendaraan, dengan kata lain tekanan gas yang terbakar akan menimbulkan gerakan putaran pada sumbu engkol dari mesin (Jama, 2008). Proses pengubahan energi yang terdapat pada motor bakar terjadi di dalam blok mesin yang terdiri dari kepala silinder (*cylinder head*), blok silinder mesin (*cylinder block*), silinder liner dan bak engkol mesin (*crankcase*) yang merupakan inti bagi kendaraan bermotor roda dua. Material yang sering di gunakan untuk silinder liner adalah besi cor kelabu (Jama, 2008).

Pada penggunaannya silinder liner seringkali di lakukan reparasi karena terjadi keausan maupun modifikasi untuk mendapatkan kompresi yang lebih besar sehingga menghasilkan energi output yang lebih besar dengan memperbesar diameter silinder liner. Namun dalam pengaplikasiannya memperbesar diameter silinder liner dapat memperbesar potensi untuk mengalami kerusakan karena ketebalan dari silinder liner yang semakin berkurang/menipis. Piston yang bergerak bolak-balik mengakibatkan keausan pada dinding silinder liner bagian dalam, hal ini akan menimbulkan penambahan kelonggaran antara torak dan silinder, sehingga dapat menyebabkan kebocoran gas, tekanan kompresi berkurang dan tenaga yang dihasilkan juga berkurang, yang juga menyebabkan umur pakai menjadi berkurang. Agar keausan silinder tidak terlalu banyak maka diupayakan bahan yang digunakan memiliki sifat tahanan aus dan juga tahan terhadap panas (Tjahjono, 2005). Dilihat dari data jumlah sepeda motor yang besar maka kemungkinan kebutuhan akan perbaikan silinder liner yang terjadi juga akan semakin meningkat.



Untuk mengatasi permasalahan tersebut perlu adanya tindakan untuk memperbaiki sifat mekanik pada silinder liner salah satunya yaitu dengan melakukan pelapisan. Material pelapis menggunakan material dengan propertis yang lebih baik. *Iron chrome mangan nikel silikon carbide* (Metcoloy 2), memiliki *properties wear resistance* yang sangat baik dan tahan akan temperatur tinggi, yang sesuai untuk mengatasi permasalahan ini. Metode yang di gunakan dalam proses pelapisan ini menggunakan *thermal arc spray*. Proses *thermal arc spray* adalah salah satu metode yang baik karena telah banyak berbagai bahan pelapis dan substrat dapat diterapkan. Pada saat proses pelapisan berlangsung perlu di berikan tekanan gas yang sesuai agar menghasilkan pelapisan optimal.

Thermal spray coating digunakan untuk melindungi komponen dari berbagai jenis aplikasi *wear* dan korosi. Saat ini bidang penerapan *thermal spray* meliputi; industri minyak untuk melindungi permukaan komponen terhadap lingkungan yang tidak bersahabat dan Industri otomotif (Nicoll, 1994). Pelapisan *wire arc spray* secara prinsip tersusun dari lelehan kawat yang di dorong oleh gas bertekanan tinggi menuju substrat. Pada saat *droplet* di beri tekanan menuju substrat terjadi kohesi antar percikan *droplet* yang dapat mempengaruhi *properties* dari pelapisan (Fang, 2004).

Dalam penelitian ini *wire arc spray* di gunakan untuk mendeposisi FeCrMnNiSiC dengan variasi tekanan. Selanjutnya untuk membuktikan hasil dari pelapisan FeCrMnNiSiC pada material silinder liner yaitu, besi cor kelabu FC25. Maka perlu di lakukan pengujian dan pengamatan hasil dari pelapisan dengan variasi tekanan pada proses, yang mana variabel tersebut dapat berpengaruh pada morfologi dan sifat mekanik pada hasil pelapisan.

1.2 Perumusan Masalah

Dengan latar belakang yang telah ada, maka terdapat beberapa masalah yang dapat di ruangan yaitu sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh tekanan gas (udara) terhadap morfologi pada hasil *coating* FC 25 dengan FeCrMnNiCSi dengan metode *thermal arc spray* ?



2. Bagaimana pengaruh gas (udara) terhadap sifat mekanik pada hasil *coating* FC 25 dengan FeCrMnNiCSi dengan metode *thermal arc spray*?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian dan pembahasan menjadi terarah dan memberikan kejelasan analisis permasalahan, maka dilakukan pembatasan permasalahan sebagai berikut :

1. Jarak *nozzle* pada proses *thermal spray* dianggap sama.
2. Sudut *nozzle* pada proses *thermal spray* dianggap sama.
3. *Feed pressure* dianggap konstan.
4. Kondisi lingkungan diabaikan
5. Spesimen uji dianggap homogen atau tanpa cacat.
6. Waktu penyemprotan di anggap konstan
7. Voltase dan arus dianggap stabil

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menganalisa pengaruh tekanan gas terhadap morfologi pada hasil *coating* FC 25 dengan FeCrMnNiCSi dengan metode *thermal arc spray*.
2. Menganalisa pengaruh tekanan gas terhadap sifat mekanik pada hasil *coating* FC 25 dengan FeCrMnNiCSi dengan metode *thermal arc spray*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat hasil dari di lakukannya penelitian ini adalah sebagai referensi tekanan proses pelapisan hasil dari metal coating pada *cylinder liner*, referensi dalam pengendalian sifat mekanik menggunakan coating metal pada *cylinder liner* dan dapat dijadikan informasi dan referensi yang saling melengkapi dengan peneliti lain.



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses pada Mesin Motor

Fungsi mesin (*engine*) adalah mengatur proses untuk mengubah energi yang terkandung dalam bahan bakar menjadi tenaga. Semua sepeda motor menggunakan sistem pembakaran di dalam silinder. Artinya, pembakaran bahan bakar terjadi di dalam silinder, dan karena itu, mesin ini dikatakan mesin pembakaran di dalam (*internal combustion engine*). Energi yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar, menyebabkan piston terdorong, bergerak dan memutar poros engkol. Pembakaran merupakan proses oksidasi cepat bahan bakar disertai dengan produksi panas, atau energi dan cahaya. Ada tiga faktor pembakaran yaitu temperatur, oksigen (udara), dan bahan bakar. Tanpa tiga faktor ini maka pembakaran tidak akan sempurna. Syarat terjadinya pembakaran yang baik pada suatu motor adalah:

1. Adanya tekanan kompresi yang cukup
2. Campuran bahan bakar dan udara cukup
3. Suhu yang cukup tinggi untuk pembakaran.

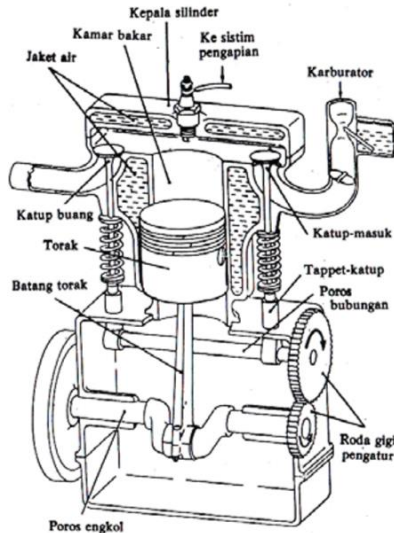
Sistem dari mesin bahan bakar dapat dilihat pada Gambar 2.1 yang menunjukkan penampang lintang mesin sepeda motor.

Sebagai ilustrasi dari proses pembakaran yang menghasilkan tenaga dalam mesin adalah, jika bahan bakar yang ada di dalam panci diberi api, bahan bakar tersebut akan terbakar, tetapi tidak meledak tapi jika bahan bakar itu terbakar di dalam tabung yang tertutup gas pembakaran ia akan berekspansi dan menekan tutup tabung, maka ia disini menghasilkan tenaga. Pembakaran memerlukan waktu untuk kelangsungannya, dan oleh karena itu pembakaran dimulai sebelum titik mati atas (TMA) dengan “mempercepat pengapian”.

Mesin motor merupakan sumber berlangsungnya pembentukan energi bagi kendaraan. Dengan energi yang dihasilkan, memungkinkan kendaraan dapat bergerak. Untuk dapat bekerja dengan baik, mesin memiliki konstruksi yang utuh dan solid sehingga memungkinkan terjadinya suatu proses pembakaran yang menghasilkan tenaga. Satu rangkaian proses yang lengkap disebut siklus yang di bagi menjadi 2 yaitu siklus 2 langkah (2 tak)

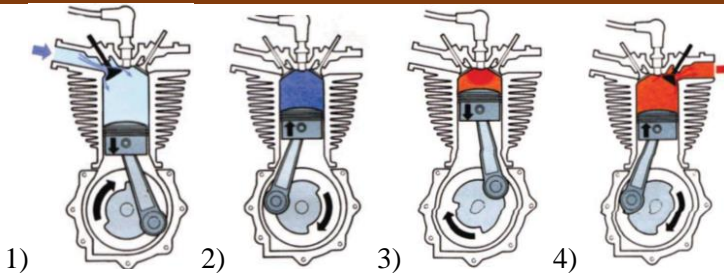


dan 4 langkah (4 tak). Proses pembakaran untuk mesin dengan siklus 4 langkah di tunjukkan pada Gambar 2.2 .



Gambar 2.1 Irisan penampang mesin sepeda Motor empat langkah (Jama,2008).

Gambar 2.2 (1) menunjukkan langkah isap, pengisian ruang bakar dengan campuran udara bahan bakar yang mudah terbakar. Sewaktu piston bergerak kebawah tekanan diruang pembakaran menjadi hampa (vakum). Perbedaan tekanan udara luar yang tinggi dengan tekanan hampa, mengakibatkan udara akan mengalir dan bercampur dengan gas. Selanjutnya gas tersebut melalui klep pemasukan yang terbuka mengalir masuk dalam ruang cylinder. Sewaktu piston bergerak keatas, klep pemasukan tertutup dan pada waktu yang sama klep buang juga tertutup. Campuran diruang pembakaran dicompresi sampai (TMA), sehingga dengan demikian mudah dinyalakan dan cepat terbakar.



Gambar 2.2 Pemampatan dan pengapian di ruang pembakaran
,1) langkah isap bahan bakar dan udara, 2) kompresi udara dan bahan bakar, 3) pembakaran bahan bakar dan udara, 4) membuang gas hasil pembakaran (Jama,2008).

Gambar 2.2 (2) menunjukkan langkah kompresi, menekan campuran tersebut sampai pada volume dan tekanan tertentu. Setelah melakukan pengisian, piston yang sudah mencapai titik mati bawah (TMB) kembali lagi bergerak menuju titik mati atas (TMA), ini memperkecil ruangan diatas piston, sehingga campuran udara-bahan bakar menjadi padat, tekanan dan suhunya naik. Tekanannya naik kira-kira tiga kali lipat. Beberapa derajat sebelum piston mencapai titik mati atas (TMA) terjadi letikan bunga api listrik dari busi yang membakar campuran udara-bahan bakar. Sewaktu piston bergerak keatas, klep pemasukan tertutup dan pada waktu yang sama klep buang juga tertutup. Campuran diruang pembakaran dicompressi sampai titik mati atas (TMA), sehingga dengan demikian mudah dinyalakan dan cepat terbakar.

Gambar 2.2 (3) menunjukkan langkah kerja membakar (*ignite*) campuran, sehingga mengembang dan menghasilkan tenaga. Campuran terbakar sangat cepat, proses pembakaran menyebabkan campuran gas akan mengembang dan memuai, dan energi panas yang dihasilkan oleh pembakaran dalam ruang bakar menimbulkan tekanan ke segala arah dan tekanan pembakaran mendorong piston kebawah (TMB), selanjutnya memutar poros engkol melalui connecting rod.

Gambar 2.2 (4) menunjukkan langkah pembuangan, membuang gas yang telah terbakar dari dalam silinder Sebelum

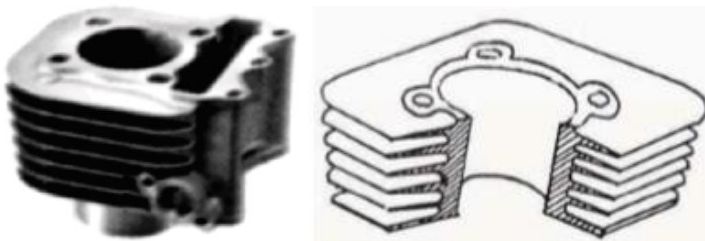


piston bergerak kebawah ke TMB, klep pengeluaran terbuka dan gas sisa pembakaran mengalir keluar. Sewaktu piston mulai naik dari TMB, piston mendorong gas sisa pembakaran yang masih tertinggal keluar melalui katup buang dan saluran buang ke atmosfer. Setelah piston mulai turun dari TMA klep pengeluaran tertutup dan campuran mulai mengalir kedalam cylinder.

Secara umum urutan diatas dinyatakan dengan istilah: Langkah isap (*suction*), langkah kompresi (*compression*), langkah usaha (*power*) dan langkah buang (*exhaust*). Untuk menghasilkan tenaga yang terus-menerus, maka mesin harus mengulangi urutan ini berulang-ulang. Satu rangkaian proses yang lengkap disebut siklus (Jama,2008).

2.2 Blok Silinder Mesin

Silinder liner dan blok silinder merupakan dua bagian yang melekat satu sama lain. Daya sebuah motor biasanya dinyatakan oleh besarnya isi silinder suatu motor. Silinder liner terpasang erat pada blok, dan bahannya tidak sama. Silinder liner dibuat dari bahan yang tahan terhadap gesekan dan panas, sedangkan blok dibuat dari besi tuang.



Gambar 2.3 Blok Silinder (Jama,2008).

Bagian paling atas dari konstruksi mesin sepeda motor adalah kepala silinder. Kepala silinder berfungsi sebagai penutup lubang silinder pada blok silinder dan tempat dudukan busi yang tahan panas. Pada mulanya, ada yang merancang menjadi satu, sekarang sudah jarang ada. Sekarang dibuat terpisah berarti silinder liner dapat diganti bila keausannya sudah berlebihan. Bahannya dibuat dari besi tuang kelabu. Untuk motor-motor yang ringan seperti pada sepeda motor bahan ini dicampur dengan aluminium. Bahan



blok dipilih agar memenuhi syarat-syarat pemakaian yaitu: Tahan terhadap suhu yang tinggi, dapat menghantarkan panas dengan baik, dan tahan terhadap gesekan.

Gambar 2.3 menunjukkan blok silinder merupakan tempat bergerak piston. Tempat piston berada tepat di tengah blok silinder. Silinder liner piston ini dilapisi bahan khusus agar tidak cepat aus akibat gesekan. Meskipun telah mendapat pelumasan yang mencukupi tetapi keausan lubang silinder tetap tak dapat dihindari. Karenanya dalam jangka waktu yang lama keausan tersebut pasti terjadi. Keausan lubang silinder bisa saja terjadi secara tidak merata sehingga dapat berupa keovalan atau ketirusan (Jama,2008).

2.3 Besi Cor Kelabu

Besi cor kelabu merupakan besi cor yang paling banyak digunakan dalam industri. Grafit pada besi cor kelabu terbentuk pada saat pembekuan. Proses grafitisasi ini didorong oleh tingginya kadar karbon, adanya unsur grafit stabilizer, terutama silikon, temperatur penuangan tinggi dan pendinginan yang lambat. Banyaknya grafit pada besi cor ini mengakibatkan patahan pada penampang tampak kelabu, oleh karena itu dinamakan besi cor kelabu. Grafit besi cor kelabu berbentuk flake (serpih), berupa lempeng-lempeng kecil yang melengkung.

Ujung-ujung ini runcing sehingga dapat dianggap sebagai ujung takikan, menyebabkan ketangguhan besi tuang ini rendah. Grafit merupakan bagian terlemah dalam besi cor, kekuatan besi cor tergantung dari kekuatan matriksnya. Bila komposisi dan laju pendinginan diatur sedemikian rupa sehingga sementit pada eutektoid menjadi grafit, maka struktur dari matriks seluruhnya ferritik. Oleh karena itu sifat dan kekuatan besi cor ini akan bervariasi.

Struktur matriks yang ferritik adalah struktur dari besi cor kelabu yang paling lunak dan lemah. Kekuatan dan kekerasan besi cor kelabu dapat dinaikkan dengan cara menaikkan jumlah karbon yang berupa sementit dalam eutektoid dan akan mencapai maksimum pada struktur matriks perlitik. Secara umum besi cor kelabu memiliki kandungan karbon (2,5-3,5) %, silikon (1,5-



3,0)%, mangan (0,5-0,8)%, sulfur (max 0,15)% dan fosfor (max 0,25)%. Kekuatan tarik besi cor ini antara 179-239 MPa, kekerasan 140-270 HV (Higgins, 1984). Tabel 2.1 menunjukkan komposisi material dari silinder liner.

Tabel 2.1. Komposisi material untuk *cylinder liner* (Ting, 1980).

Type	Composition, wt% (balance iron)								Ultimate tensile strength		Hardness, HB	Microstructure
	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Other	MPa	ksi		
Sand-cast block and barrels	3.3	2.1	0.1	0.15	0.6	0.3	0.2		220	32	200	Flake graphite, pearlite matrix, no free carbides. Phosphide eutectic network increase
San-cast liners	3.3	1.8	0.1	0.25	0.8		0.4		230	33	220	with phosphorus content. Minimum of free ferrite to minimize scuffing, but less important with increasing phosphide
Centrifugal gray cast liners	3.4	2.3	0.06	0.5	0.8		0.4		260	38	250	As for sand cast, but finer graphite tending toward rosette or undercooled. Matrix martensitic/bainitic if liner is hardened and tempered
Centrifugal cast alloy liners	3.1	2.3	0.06	0.3	0.8		0.8	0.3 V or 1.0 Mo	320	46	280	Compact graphite. Pearlite matrix with islands of alloy carbides. Ternary eutectic phosphide with carbides. Minimum of free ferrite ideal but not important in presence of carbide
Austenitic iron liners	2.9	2.0	0.06	0.3	0.8	1.40	2.0	7.0 Cu	190	28	180	Fine flake graphite with some undercooled graphite. Fine grained cored austenite matrix, complex carbide and ternary phosphide eutectic in broken network



2.4 Pelapisan (*Coating*)

Pelapisan (*coating*) adalah proses penambahan atau penumpukan suatu material ke suatu permukaan material lain (atau material yang sama). Pada umumnya pelapisan diterapkan ke suatu permukaan dengan tujuan untuk:

1. Melindungi permukaan dan lingkungan yang mungkin menyebabkan korosi atau deterioratif (merusak).
2. Untuk meningkatkan penampilan permukaan.
3. Untuk memperbaiki permukaan atau bentuk suatu komponen tertentu dan lain-lain (Pawlowski, 2008).

Sistem pelapisan digunakan untuk melindungi material dari serangan korosi secara ekstensif. Pemilihan jenis material dan metode *coating* harus memperhatikan beberapa faktor. Material *coating* yang ideal digunakan untuk melapisi adalah sebagai berikut :

1. Logam pelapis harus lebih tahan pada lingkungan dibanding dengan logam yang dilindungi.
2. Logam pelapis tidak boleh memicu korosi setelah melapisi logam yang dilindungi.
3. Sifat mekanik dan fisik seperti kekuatan, ketahanan abrasi, ketahanan korosi, dan sifat termal harus memenuhi kondisi operasi komponen yang bersangkutan.
4. Metode pelapisan harus sesuai dengan metode fabrikasi komponen.
5. Tebal pelapisan harus homogen dan tidak mengandung pori.

Pelapisan terdiri dari beberapa metode pelapisan dan pemilihan metode pelapisan didasarkan pada bentuk, ukuran, kemampuan adaptasi material terhadap metode yang digunakan, tingkat adhesi dan ketersediaan alat (Prawara, 2006).

Pelapisan terdiri atas bermacam-macam teknik pelapisan dan pemilihannya didasarkan atas permintaan fungsional (ukuran, bentuk, dan metalurgi substrat), kemampuan adaptasi material pelapis terhadap teknik yang digunakan, tingkat adhesi (perekatan) yang diminta, serta ketersediaan dan harga peralatannya. Teknik-teknik ini dibagi menjadi *metallic* dan *non metallic*. *Metallic*



coating deposition dibagi menjadi tiga kategori. Ada tiga teknik dalam *hard facing* yaitu *cladding*, *welding*, dan *thermal spraying*.

Coating harus memberikan penghalang secara terus-menerus pada substrat, sebab ketidak sempurnaan *coating* bisa menyebabkan degradasi dan korosi pada substrat (Hill, 2000). Tingkat proteksi dari pelapisan tergantung pada sistem keseluruhan dari pelapisan yang terdiri dari jenis pelapisan, substrat logam dan preparasi permukaan. Material *coating* yang ideal digunakan untuk melapisi adalah sebagai berikut :

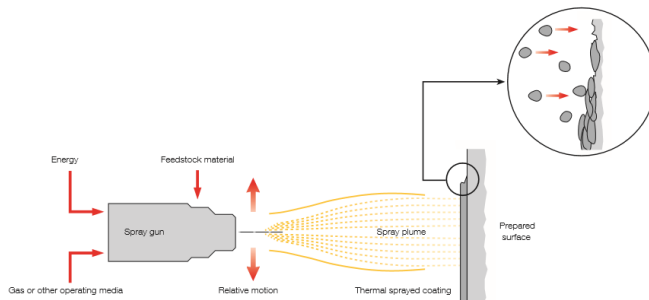
1. Logam pelapis harus lebih tahan terhadap serangan lingkungan dibanding dengan logam yang dilindungi.
2. Logam pelapis tidak boleh memicu korosi setelah melapisi logam yang dilindungi.
3. Sifat mekanik dan fisik seperti kekuatan, ketahanan abrasi, ketahanan korosi, dan sifat termal harus memenuhi kondisi operasi komponen yang bersangkutan.
4. Metode pelapisan harus sesuai dengan metode fabrikasi komponen
5. Tebal pelapisan harus homogen dan tidak mengandung pori (Pawlowski, 2008)

2.5 Thermal Spray

Thermal spray merupakan salah satu teknik rekayasa permukaan Gambar 2.4 menunjukkan skema prinsip dasar *thermal spray* yaitu dengan mendepositkan partikulat dalam bentuk cair, semi-cair, atau padat ke substrat atau sekelompok proses dimana material pelapis (*feedstock material*) dipanaskan dan didorong sebagai partikel individu atau *droplets* ke suatu permukaan *,base material/substrat* (Pawlowski, 2008). *Thermally sprayed coatings* memberikan permukaan yang fungsional untuk melindungi atau memodifikasi perilaku substrat yang ingin diberikan proteksi (Dorfman, 2005).

Energi termal yang digunakan untuk melelehkan material pelapis dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu *electrical* dan *flame heating*. Saat material dipanasi, mereka berubah menjadi keadaan plastis atau meleleh dikurung serta diberi percepatan oleh aliran gas bertekanan ke substrat. Partikel-partikel tersebut

menabrak substrat, menempel, dan membentuk lapisan tipis (splats) yang menyesuaikan dan menempel pada permukaan tidak rata substrat dan dengan partikel pelapis yang lain



Gambar 2.4 Prinsip dasar *thermal spray* (Oerlicon,2016).

. Kemudian setelah dingin akan terbentuk lapisan yang tidak homogen dan umumnya terdapat derajat porositas dan oksida logam. Material feed stock dapat berupa apa saja yang dapat dilelehkan termasuk logam, senyawa logam, cerment oksida, gelas, dan polimer, dapat juga dalam bentuk powder, wire atau rod. Pengikat antara susbstrat dan pelapis dapat berupa ikatan mekanik, kimia, metalurgi atau kombinasi ketiganya. Sifat-sifat dari pelapis bergantung pada jenis material, proses thermal spray dan parameter-parameter yang diterapkan, dan perlakuan setelah proses thermal spray pada pelapis.

Thermal spray mengurangi ketahanan abrasi dan korosi sehingga memperpanjang umur perawatan dari sebuah *part* dengan menggunakan material *coating* dengan performa tinggi diatas material substrat tingkat rendah. Lebih dari 200 material *coating* dengan perbedaan karakteristik ketangguhan , koefisien gesek, kekerasan, dan berbagai karakteristik lainnya. Material coating dapat diklasifikasikan seperti *pure metals*, *metal alloys*, *cermets* (*Ceramic metals*), *ceramics*, *carbide*, *polymers*, *special composite materials*. Secara umum *thermal spray* dibedakan menjadi lima metode, yaitu:

- *Oxyfuel wire (OFW) spray*

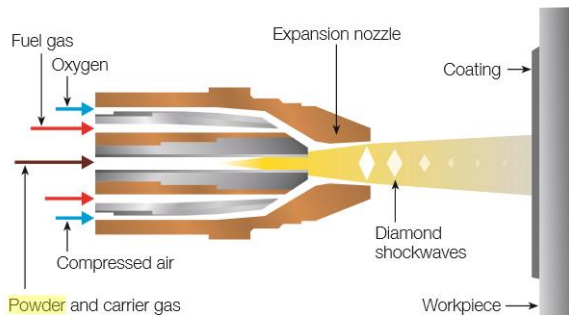


- *Electric arc wire (EAW) spray*
- *Oxyfuel powder (OFP) spray*
- *Plasma arc (PA) powder spray*
- *High-velocity oxyfuel (HVOF) powder spray*

Pada setiap metode memiliki parameter karakteristik yang berbeda. Energi termal pada setiap metode ditentukan oleh temperatur operasi yang dapat dicapai dan energi kinetik dari partikel semprot di tentukan dari kecepatan gas (Oerlicon,2016).

2.6 *High-velocity oxyfuel (HVOF) powder spray*

Proses oxy-fuel spray kecepatan tinggi (HVOF) di tunjukkan pada Gambar 2.5 adalah metode yang relatif baru untuk proses *thermal spray*. Karena menggunakan jet supersonik, yang membedakannya dari *flame spray* konvensional, kecepatan dampak partikel pada substrat jauh lebih tinggi, sehingga meningkatkan karakteristik lapisan. Serbuk biasanya dilelehkan dan mencapai kecepatan hingga 700 m/s. Mekanismenya berbeda dari *flame spray* dengan perluasan jet pada saat keluar dari pistol. Gas bahan bakar propana, propilena, asetilena, hidrogen dan gas alam dapat digunakan, serta bahan bakar cair.



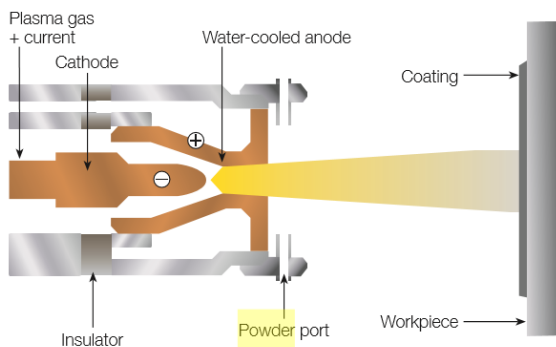
Gambar 2.5 Skema *oxy-fuel spray* kecepatan tinggi (HVOF) (Oerlicon,2016).

Karakteristik umum pada metode ini adalah pembentukan pelapis memiliki kualitas yang lebih baik dalam kekerasan dan keutuhannya dan lebih banyak perekat dibandingkan dengan

metode penyemprotan lainnya. Paling cocok untuk penyemprotan bahan logam tahan api (WC-Co). Jet gas yang dihasilkan panjang dan sangat terkonsentrasi. Paling cocok untuk penyemprotan benda kecil karena jet gasnya memiliki diameter lebih kecil. Kekasaran lapisan permukaan yang kecil dan seragam (ASM Handbook, 1994).

2.7 Plasma arc (PA) powder spray

Prinsip penyemprotan plasma ditunjukkan secara skematis pada Gambar 2.6. Busur frekuensi tinggi dinyalakan di antara anoda dan katoda tungsten. Gas yang mengalir melalui elektroda (yaitu, He, H₂, N₂ atau campuran) terionisasi sedemikian rupa sehingga pertumbuhan plasma beberapa sentimeter beberapa panjangnya berkembang. Suhu di dalam gumpalan bisa mencapai setinggi 16000 K. Bahan material *coating* berupa serbuk di luar nosel pistol ke dalam plume plasma, di mana dilelehkan, dan dilemparkan oleh gas ke permukaan substrat.



Gambar 2.6 Skema *plasma arc (PA) powder spray* (Oerlicon, 2016).

Untuk aplikasi khusus, varian prosesnya adalah semprotan plasma di atmosfer yang terkontrol dan bertekanan rendah. Berbeda dengan pelapis di udara (penyemprotan plasma atmosfer, atau APS), partikel meleleh yang teroksidasi jauh lebih sedikit dengan

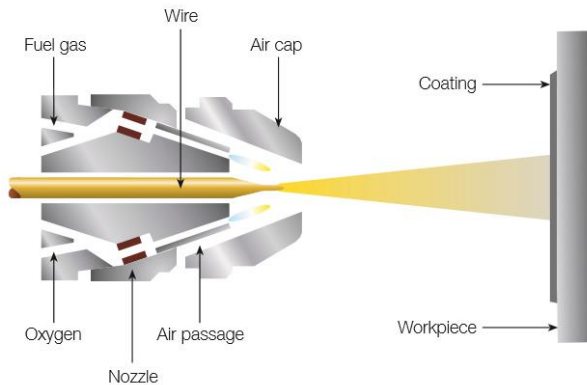


kondisi vakum. Penyemprotan plasma (VPS), menghasilkan lapisan dengan kualitas yang jauh lebih tinggi.

Karakteristik umum metode ini adalah penyemprotan dapat dilakukan dengan semua bahan termasuk keramik dan logam umum. Alternatif yang berkualitas dan unggul dalam ketahanan panas dan ketahanan korosi kimia. Oksidasi bahan yang jarang terjadi karena penggunaan gas inert seperti argon. Kontrol suhu substrat rendah pada 200 °C atau di bawahnya. Paling cocok untuk penyemprotan benda kecil (ASM Handbook, 1994).

2.8 *Oxyfuel wire (OFW) spray*

Dengan proses *spray* kawat pembakaran, bahan *spray* kawat dilelehkan dalam api berenergi oksigen gas. Gas bahan bakar bisa berupa asetilena, propana atau hidrogen. Kawat dialirkan secara konsentris ke dalam *flame spray*, di mana ia dilelehkan dan diatomisasi dengan penambahan udara bertekanan yang juga mengarahkan bahan leleh ke permukaan benda kerja.



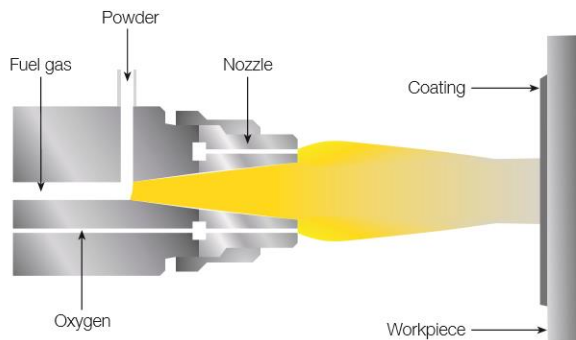
Gambar 2.7 Skema *oxyfuel wire (OFW) spray*
(Oerlicon,2016).

Karakteristik umum metode ini adalah tidak ada kerusakan dan perubahan yang ditemukan pada bahan yang akan disemprot karena penyemprotan dengan suhu rendah. Penyemprotan keramik dengan titik leleh yang relatif rendah mungkin sesuai dengan

bentuk batang atau tabung. Lapisan dengan kekasaran permukaan lebih halus dan kekerasan yang lebih tinggi diperoleh dengan penyemprotan busur. Hilangnya krom dan karbon yang lebih kecil dibandingkan dengan penyemprotan busur (ASM Handbook, 1994).

2.9 *Oxyfuel powder (OFP) spray*

Proses pelapisan ini didasarkan pada prinsip operasional yang sama dengan proses *flame spray*, dengan perbedaan bahwa bahan pelapisnya adalah material serbuk. Dengan demikian, pemilihan bahan yang lebih banyak tersedia, karena tidak semua bahan dapat diproduksi dalam bentuk kawat.



Gambar 2.8 Skema *oxyfuel powder (OFP) spray* (Oerlicon,2016).

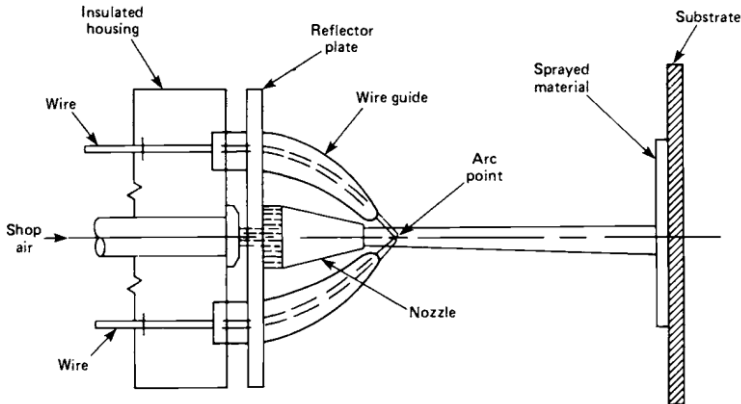
Karakteristik umum metode ini adalah koefisien gesekan rendah dan ketahanan aus yang tinggi. Ketahanan korosi lebih tinggi dari yang setara dengan paduan nikel tinggi. Tingginya kekerasan pada suhu tinggi (ASM Handbook, 1994).

2.10 *Electric Arc Wire Spray*

Electric arc wire spraying juga merupakan aplikasi pelapisan dengan lapisan metal dalam bentuk *wire*. Pada Gambar 2.5 menunjukkan skematik EAW. Motor *push-pull* berisi dua buah *charged wire* melalui bagian ujung. Busur tercipta oleh kawat



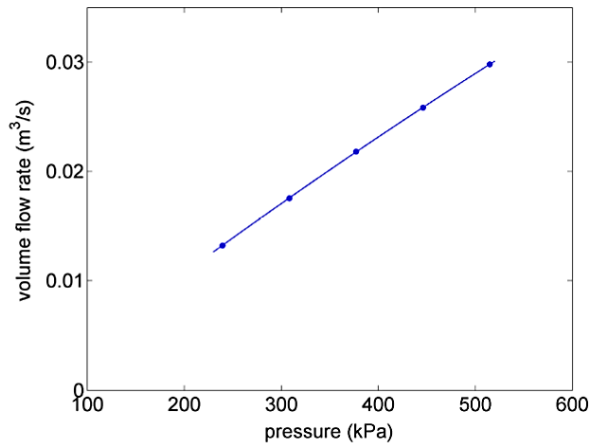
(*wire*) metal pada temperatur 5500°C. Kompresi udara mengatomisasi molten metal dan memproyeksikan ke permukaan yang telah disiapkan.



Gambar 2.9 Skematik yang dihasilkan oleh dua kawat bermuatan listrik meleleh di *nozzle* dari pistol semprot EAW (ASM Handbook, 1994)

Dengan semprotan kawat busur listrik, busur dibentuk dengan kontak dua kabel logam yang didepositkan, biasanya dengan komposisi yang sama. Hal ini menyebabkan mencairnya ujung bahan kawat. Udara mengionisasi bahan kemudian meleleh dan mempercepat ke substrat. Laju penyemprotan disesuaikan dengan pengaturan yang tepat dari umpan kawat karena dilelehkan, sehingga busur konstan dapat dipertahankan.

Proses *electric wire spray* sangat baik untuk aplikasi yang membutuhkan lapisan *coating* yang berat atau yang memiliki permukaan lebar. Sistem busur dapat menghasilkan pola *spray* antara 50 sampai 300mm (2 sampai 20 in) dan dapat di *spray* dengan kecepatan tinggi. Metode EAW ditandai dengan adhesi lapisan kuat karena temperatur partikel tinggi yang dihasilkan. Karena proses hanya menggunakan listrik dan kompresi udara, memungkinkan peralatan untuk dipindahkan relatif mudah dari satu instalasi ke yang lain, dan menghilangkan kebutuhan untuk oksigen dan pasokan bahan bakar gas (ASM Handbook, 1994).



Gambar 2.10 *Standard volumetric flow-rate of the atomizing gas (dry air) as a function of the upstream pressure (Abkenar,2007).*

Pada Gambar 2.10 menunjukkan Tingkat aliran volume gas atomisasi dan tekanan yang telah diukur dengan menggunakan arus meter eksternal dan alat pengukur tekanan yang terpasang di antara meteran arus dan pistol pada metode *wire arc spray*. Dapat diamati bahwa volume-flow-rate meningkat secara linear dengan tekanan. Karena arcing terjadi di hilir nosel, hubungan ini tidak terpengaruh secara signifikan oleh parameter operasi lainnya (Abkenar,2007).

2.11 Perbandingan Metode Proses Pelapisan

Proses yang sebelumnya dibahas berbeda secara mendasar oleh energi termal dan kinetik yang diberikan pada partikel semprotan oleh setiap proses. Energi termal ditentukan oleh suhu bakar yang dapat dicapai dan energi kinetik partikel semprot adalah fungsi kecepatan gas.

Proses HVOF, yang memiliki energi kinetik tinggi dan energi panas yang relatif rendah, menghasilkan efek positif pada karakteristik pelapis dan menguntungkan untuk material bahan seperti lapisan tungsten carbide. Tabel 2.2 mencantumkan beberapa karakteristik lapisan penting, yang disusun oleh kelas material (Oerlicon,2016).



Tabel 2.2 Perbandingan Metode Proses Pelapisan
(Oerlicon,2016).

Characteristics	Coating type		Combustion powder	HVOF	Electric arc wire	Plasma
Gas temperature	[°C]		3000	2600 – 3000	4000 (Arc)	12000 – 16000
	[°F]		5400	4700 – 5400	7200 (Arc)	21500 – 29000
Spray rate	[kg/h]		2 – 6	1 – 9	10 – 25	2 – 10
	[lb/h]		4.5 – 13	2 – 20	22 – 55	4.5 – 22
Particle velocity	[m/s]		≤ 50	≤ 700	~ 150	≤ 450
	[ft/s]		≤ 160	≤ 2300	~ 500	≤ 1500
Bond strength	[MPa]	Ferrous alloys	14 – 21	48 – 62	28 – 41	21 – 34
			2000 – 3000	7000 – 9000	4000 – 6000	3000 – 5000
	[MPa]	Non-ferrous alloys	7 – 34	48 – 62	14 – 48	14 – 48
			2000 – 5000	7000 – 9000	4000 – 7000	4000 – 7000
	[MPa]	Self-fluxing alloys	83+ (fused)	70 – 80	15 – 50	---
			12000+ (fused)	10000 – 11500	2200 – 7200	---
	[MPa]	Ceramics	14 – 34	---	---	21 – 41
			4000 – 5000	---	---	3000 – 6000
	[MPa]	Carbides	34 – 48	83+	---	55 – 69
			5000 – 7000	12000+	---	8000 – 10000
Coating thickness	[mm]	Ferrous alloys	0.05 – 2.0	0.05 – 2.5	0.1 – 2.5	0.4 – 2.5
			0.002 – 0.080	0.002 – 0.100	0.004 – 0.100	0.015 – 0.100
	[mm]	Non-ferrous alloys	0.05 – 5.0	0.05 – 2.5	0.1 – 5.0	0.05 – 5.0
			0.002 – 0.200	0.002 – 0.100	0.004 – 0.200	0.002 – 0.200
	[mm]	Self-fluxing alloys	0.15 – 2.5	0.05 – 2.5	---	---
			0.006 – 0.100	0.002 – 0.100	---	---
	[mm]	Ceramics	0.25 – 2.0	---	---	0.1 – 2.0
			0.010 – 0.075	---	---	0.004 – 0.080
	[mm]	Carbides	0.15 – 0.8	0.05 – 5.0	---	0.15 – 0.8
			0.006 – 0.030	0.002 – 0.200	---	0.006 – 0.030
Hardness (see Table A1 in the Appendix)	[HRC]	Ferrous alloys	35	45	40	40
		Non-ferrous alloys	20	55	35	50
		Self-fluxing alloys	30 – 60	30 – 60	---	30 – 60
		Ceramics	40 – 65	---	---	45 – 65
		Carbides	45 – 55	55 – 72	---	50 – 65
Porosity	[%]	Ferrous alloys	3 – 10	< 2	3 – 10	2 – 5
		Non-ferrous alloys	3 – 10	< 2	3 – 10	2 – 5
		Self-fluxing alloys	< 2 (fused)	< 2	---	---
		Ceramics	5 – 15	---	---	1 – 2

2.12 Parameter Proses *Electric Arc Spray*

Parameter yang terdapat pada proses *Electric Arc Spray* yang pertama adalah tenaga listrik yang digunakan pada metode ini biasanya berkisar 5-10kW dengan suhu busur mencapai 6100K dan arus busur 280A. Tegangan busur biasanya berada pada kisaran 20-40V. Tingkat deposisi berada pada kisaran 50 sampai 1000g/menit. Jarak semprotan: 50-250mm dengan atmosfer semprot adalah udara tetapi nozzle penyemprotan busur dapat dipasang di ruang hampa udara, atau atmosfer reaktif atau inert. Atomisasi gas yang di gunakan adalah udara namun bisa berupa nitrogen atau campuran oksigen dengan gas bahan bakar. Atomisasi tekanan gas berada pada kisaran 0,2 sampai 0,7Mpa.



Perawatan pasca penyemprotan dengan annealing tungku dapat diterapkan untuk memperbaiki kerapatan dan kekuatan ikatan pelapis (Pawlowski, 2008).

2.13 Karakteristik *coating*

Ada beberapa metode yang berbeda untuk penyemprotan, tetapi semua didasarkan pada prinsip yang sama. bahan coating, kawat atau bubuk, dimasukkan ke dalam pistol penyemprotan, dipanaskan hingga mencapai kondisi cair atau semi cair dan dilontarkan oleh gas atau udara ke arah komponen yang ingin dilindungi. logam menempel pada komponen seperti percikan dan kemudian mendingin. Mekanisme ikatan yang terbentuk biasanya terjadi secara mekanik, dan dalam beberapa kasus ikatan terjadi secara metalurgi. Setiap lapisan menempel dengan lapisan sebelumnya, menyusun struktur lamelar, yang sayangnya biasa terjadi dengan beberapa inklusi, oksida dan pori-pori. Proses yang digunakan pada penelitian ini, adalah *arc spraying process*. Dua kabel logam bertemu di aliran gas yang telah teratomisasi dan adanya perbedaan potensial listrik menyebabkan kawat teratomisasi atau mencair dan akhirnya menempel pada substrat. Kekuatan adhesinya bisa mencapai 6.000-8.000 psi dan mengandung porositas 3 - 8% (Siegmund, 1997).

Keuntungan *thermally sprayed coatings* adalah bahwa metode ini mudah untuk diterapkan, murah untuk dioperasikan, dan untuk beberapa metode, misalnya *arc wire process*, peralatan dapat praktis dan penyemprotan dapat dilakukan di tempat. Umur *thermally sprayed* juga lebih unggul jika dibandingkan dengan pelapis organik, dengan umur hidup diperkirakan lebih dari 30 tahun di zona percikan (*splash zone*) dengan ketebalan coating 200 mikron (Fischer, 1995). Electric arc spray juga menawarkan kelebihan jika dibandingkan dengan flame spray, yaitu kekuatan ikatan yang tinggi (ASM Handbook, 1994).

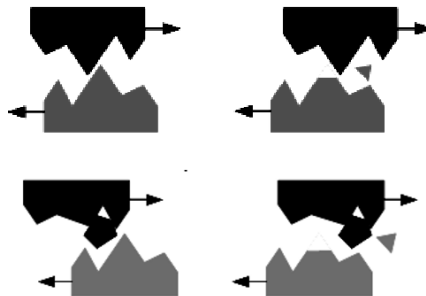
2.14 Abrasi

Keausan (wear) adalah hilangnya materi dari permukaan benda padat sebagai akibat dari gerakan mekanik (Rabinowicz, 1995). Dua buah atau lebih benda yang mengalami kontak dan



bergerak relatif satu sama lain akan menimbulkan gaya gesek. Bentuk dan arah gesekan yang ditimbulkan tergantung bagaimana profil, dimensi dan arah gerak dari masing-masing benda. Adanya gesekan akan menyebabkan terjadinya kerusakan berupa hilangnya material dari permukaan benda, yang dinamakan keausan/abrasi. Abrasi yang lebih besar akan terjadi pada benda yang kekerasannya lebih rendah. Berbagai faktor yang mempengaruhi abrasi adalah kecepatan gerak, besarnya beban, profil permukaan serta kekerasan (*hardness*) dari material itu sendiri. Gesekan antar permukaan juga akan menimbulkan panas yang juga mempengaruhi abrasi, karena dalam kajian material disebutkan bahwa kekerasan material akan berkurang seiring meningkatnya temperatur (Hasry dan Kaelani, 2014).

Pada Gambar 2.6 menunjukkan mekanisme keausan abrasi (*abrasive wear*) yang terjadi apabila permukaan yang keras bergesekan dengan permukaan yang lebih lunak, meninggalkan goresan torehan pada permukaan lunak. Abrasi juga bisa disebabkan oleh patahan partikel keras yang bergeser diantara dua permukaan lunak. Fragmen abrasif yang ada dalam fluida mengalir cepat juga dapat menyebabkan tertorehnya permukaan, jika membentur permukaan pada kecepatan tinggi (Stachowiak dan Batchelor, 2001).



Gambar 2.11 Mekanisme *abrasive wear* (Stachowiak dan Batchelor, 2001)



2.15 Ferrous Chrome Base Coat

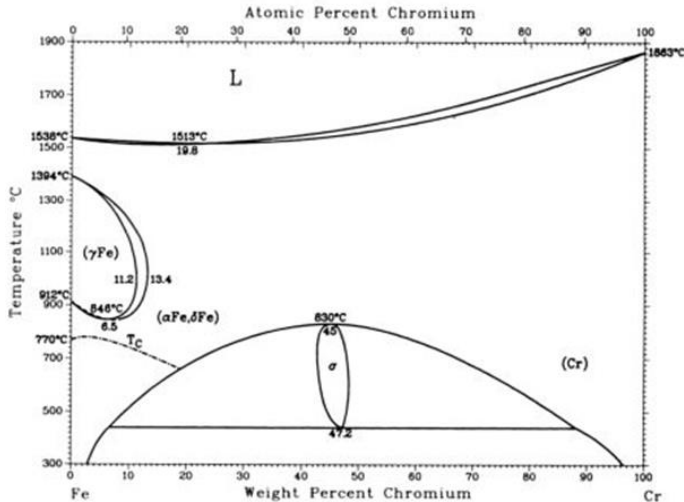
FeCr wire banyak digunakan sebagai material base coat pada aplikasi coating. Ravi kirpala dan S.Jindal, 2011 yang telah menganalisa tentang perilaku keausan dari coating dengan Fe base yang di aplikasikan pada material A356 yang merupakan material dari silinder blok. Dua jenis lapisan dengan base Fe yang diendapkan pada substrat A356, dengan menggunakan metode penyemprotan HVOF.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk kedua kondisi lapisan dianalisis memiliki sifat aus yang lebih baik daripada besi cor. Peneliti menguji dengan 2 material pelapis yang berbeda pada komposisi karbonnya. Pelapis 2 memiliki sifat aus lebih baik daripada 1 dengan nilai pada material pelapis 2 sebesar $6\mu\text{g/m}$ dan material pelapis 1 sebesar $8\mu\text{g/m}$. Dengan hasil tersebut cukup bisa di aplikasikan untuk besi cor kelabu sebagai bahan standar untuk blok silinder (Jindal,2011).

Sifat unsur kromium dapat menurunkan laju pendinginan kritis (kromium sejumlah 1,5% cukup meningkatkan kekerasan). Penambahan kromium pada baja menghasilkan struktur yang lebih halus dan membuat sifat baja dikeraskan lebih baik karena kromium dan karbon dapat membentuk karbida. Kromium dapat menambah kekuatan tarik ,dan berguna juga dalam membentuk lapisan pasif untuk melindungi baja dari korosi serta tahan terhadap suhu tinggi (Agus,2007).

Banyak baja dan besi tuang komersial mengandung unsur paduan penstabil ferrit (Si, Cr, Mo, dan V) dan penstabil austenite (Mn dan Ni). Diagram fasa biner besi-kromium yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 juga masih dalam pengaruh kromium sebagai unsur penstabil ferrit.

Pada temperatur solidus, struktur BCC kromium terbentuk sebagai larutan padat δ -ferrit. Pada temperatur yang lebih rendah, Fe- γ muncul dalam kondisi tertutup (*loop*) hingga sekitar 11,2% Cr. Dengan kadar karbon yang cukup, paduan besi-kromium dengan kadar 11,2% Cr dapat dikeraskan melalui perlakuan panas



Gambar 2.12 Diagram Fasa FeCr

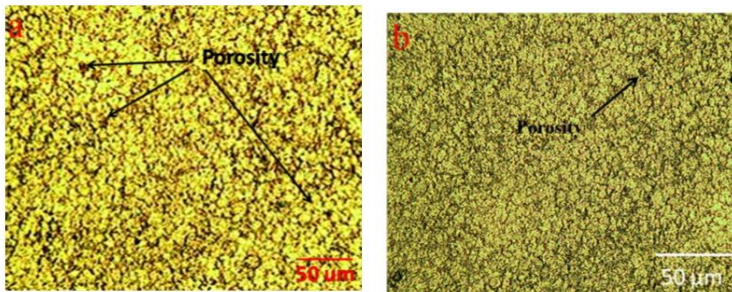
Pada temperatur rendah, larutan padat BCC dari ferrit masih ditemukan dalam bentuk a-ferrit. Dalam hal ini, a-ferrit sama strukturnya dengan d-ferrit. Tanpa adanya karbon dan kadar kromium melebihi 13%, grade paduan ini tidak dapat dikeraskan dan termasuk dalam kategori baja tahan karat. Namun pada temperatur yang rendah, ditemukan fasa sigma yang keras, getas, dan perlu dihindari dalam baja tahan karat (*ASM Metals Handbook vol. 3. 1990*).

2.16 Penelitian Sebelumnya

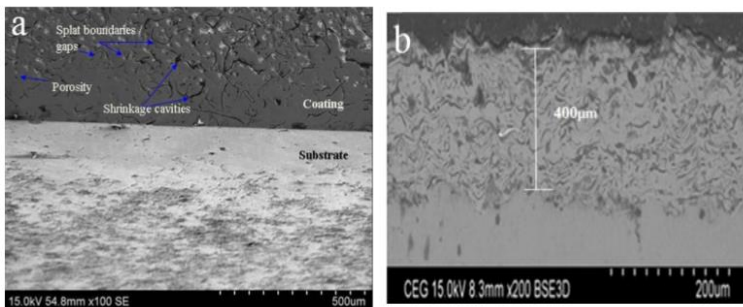
Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Priyan (2014). Peneliti menganalisis *wear resistance* dari pelapisan menggunakan Fe base pada *grey cast iron*.

Pada percobaan ini peneliti menunjukkan struktur mikro dari paduan FeSiNiCr dan FeBCr yang digunakan untuk melapisi besi cor kelabu. Hasil menunjukkan hasil porositas permukaan yang telah dilapisi kurang dari 1%. Gambar 2.8 menggambarkan mikrofografi dari permukaan atas lapisan. Yang menunjukkan struktur mikro halus terdistribusi secara merata. Hal ini juga

menunjukkan struktur spesimen yang dilapisi memiliki butir yang homogen dan baik. Hal ini disimpulkan bahwa mikrografi optik (Gambar. 2.8) dari paduan *coating* FeBCr memiliki pori yang lebih sedikit dari spesimen yang dilapisi paduan FeSiNiCr. Butir *coating* FeBCr ditemukan dengan ukuran lebih halus dari *coating* FeSiNiCr. Permukaan dan penampang mikro yang identik, yang ditunjukkan pada Gambar.2.9, dan penuh dengan butiran halus terdistribusi secara merata seperti deposit bubuk dengan batas-batas lebar yang menonjol, menunjukkan konsistensi lapisan melalui proses HVOF.



Gambar 2.13 morfologi permukaan (a) FeSiNiCr spesimen telah dilapisi, (b) FeBCr spesimen telah dilapisi (Priyan,2014).



Gambar. 2.14 Hasil pengujian SEM penampang lintang (a) pelapisan paduan FeSiNiCr, (b) pelapisan paduan FeBCr (Priyan,2014).



Penelitian SEM pada bagian lintang sampel menunjukkan lapisan konsisten dengan ketebalan lapisan rata-rata 400nm. Kesenjangan, lubang dan batas-batas di antara deposit lebih jelas terlihat dalam gambar SEM, yang ditunjukkan pada Gambar. 2.9.

Meskipun anomali coating ini yang merupakan sifat yang melekat, porositas keseluruhan kurang dari 1,5% dan dari tingkatan lebih yang sama porositas terus berlanjut di seluruh lapisan, menandakan deposisi yang baik dan kontrol proses yang lebih baik. Pembentukan lapisan padat dikaitkan dengan kecepatan tinggi menuju substrat yang merupakan karakteristik dari proses HVOF (Priyan,2014).

Fitrianova (2013) juga melakukan analisa tentang pengaruh jarak nozzle dan tekanan gas pada proses pelapisan. Substrat yang di gunakan oleh peneliti adalah SS 316 dengan melakukan pelapisan Ni-20Cr yang menggunakan metode *wire arc spray* dengan variasi jarak nozzle dan gas tekanan gas. Di dalam penelitian ini juga menjelaskan pengaruh jarak dan tekanan terhadap kekasaran permukaan.

Tabel 2.3 Hasil pengujian surface roughness dengan variasi jarak dan tekanan (Fitrianova,2013)

Coating	Kekerasan (μm)
150; 4	6.68
150; 4,5	8.01
200; 4	5.25
200; 4,5	6.68
300; 4	4.64
300; 4,5	5.58

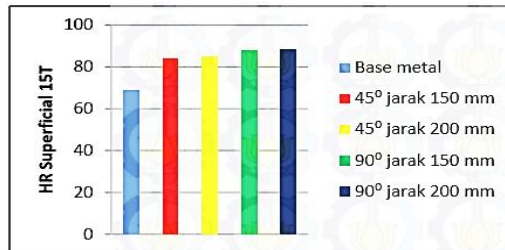
Dengan variasi jarak dan tekanan dapat dilihat pada Tabel 2.3 hasil pengujian kekasaran. diketahui bahwa kekasaran terbesar ada pada variasi 150 mm ; 4,5 bar (Fitrianova dan Yuli,2013).

Sugiono (2013), juga melakukan penelitian dengan menggunakan parameter proses variasi sudut nozzle dan jarak nozzle pada *arc spray coating*. peneliti menggunakan material Hardox 400 dan menggunakan metode pelapisan 13 *chrome steel*



wire arc spray dengan variasi sudut 45° , 90° dan jarak nozzle 150mm, 200mm.

Hasil penelitian di tunjukkan pada Gambar 2.10 dimana didapatkan nilai kekerasan yang paling besar pada variasi sudut 90° jarak 200mm yaitu 88,312 HR15T. Nilai wear rate yang paling kecil pada variasi sudut 90° jarak 200mm yaitu $1,39 \text{ mm}^3/\text{m} \times 10^{-2}$ (Sugiono dan Yuli, 2013).



Gambar 2.15 Grafik hasil pengujian kekerasan variasi jarak dan sudut pelapisan (Sugiono, 2013).

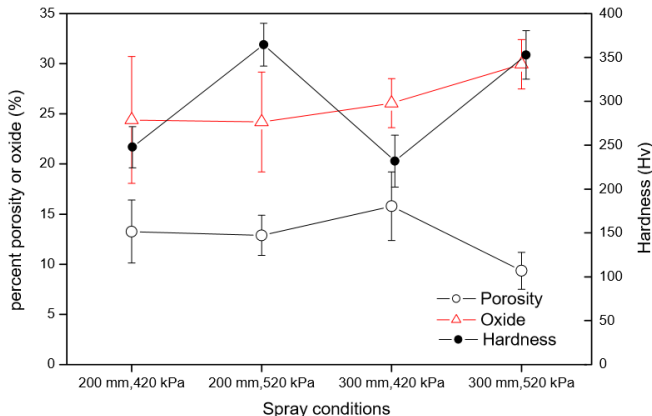
Penelitian lain juga di lakukan oleh Reungruthai dengan menganalisis efek parameter penyemprotan dengan metode *Arc Sprayed Coating*. Peneliti melakukan percobaan salah satunya untuk mengamati porositas yang terbentuk dengan parameter tekanan dan jarak yang berbeda. Metode yang di gunakan adalah *wire arc spraying* menggunakan material coating Stainless steel (316LS) *wire* dengan diameter of 1.2 mm yang di semprotkan pada substrat *polished mild steel*. Parameter tekanan dan jarak yang di gunakan dapat di lihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.4 Kondisi eksperimental *stainless steel 316LS wire arc spraying* (Reungruthai,2010).

Parameters	C1	C2	C3	C4
Voltage (V)	26	26	26	26
Spay distance (mm)	200	200	300	300
Air pressure (Kpa)	420	520	420	520



Pada penelitian ini pelapisan dengan semprot jarak pendek (200 mm), tekanan gas tidak berpengaruh pada porositas lapisan sedangkan, di jarak yang lebih jauh (300 mm) tekanan yang lebih tinggi (520 kPa) memberi porositas rendah sebesar 7%. konten oksida ini cenderung meningkat dengan meningkatnya tekanan gas, terutama di semprot jarak yang lebih jauh (Gambar 2.10).



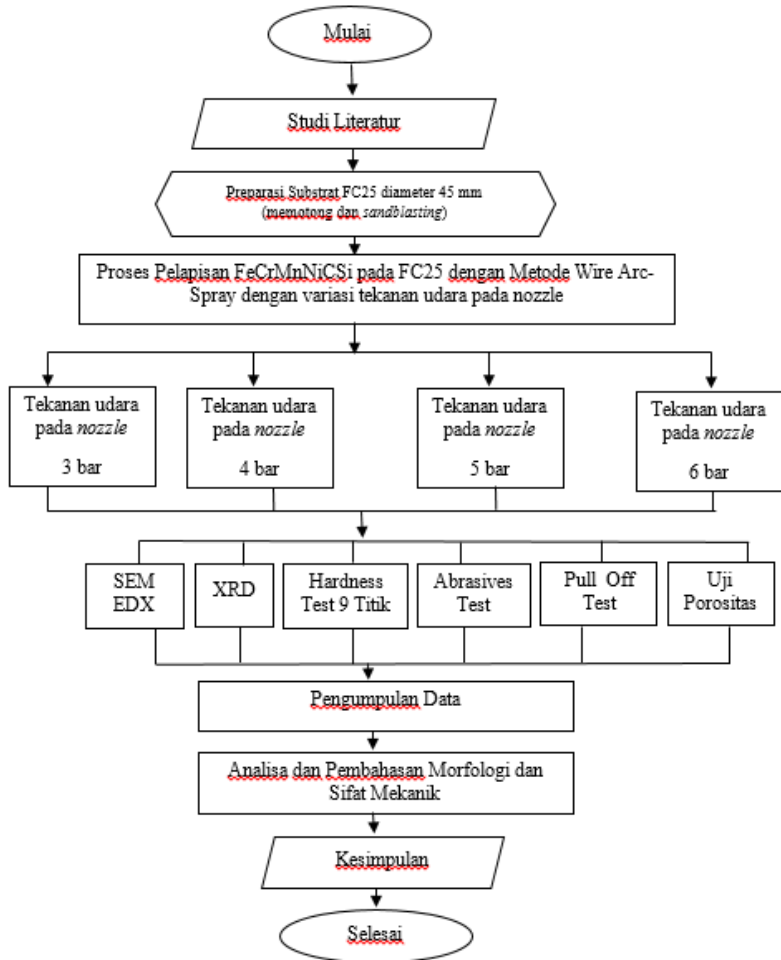
Gambar 2.16 Porositas, oksida dan kekerasan hasil pelapisan (Reungruthai,2010).

Hal ini menjelaskan kembali bahwa jarak *spray* mengakibatkan waktu yang lebih lama untuk oksigen dapat bereaksi dengan tetesan *droplet*, bersamaan dengan tekanan gas yang digunakan lebih tinggi lebih banyak oksigen yang mengelilingi *droplet*. Kekerasan pelapis ditemukan sangat tergantung pada tekanan gas seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11. Coating kekerasan meningkat hingga 40% dengan meningkatnya tekanan gas sebesar 100 kPa. Itu dari fakta bahwa struktur padat (porositas rendah) dapat diperoleh dari kecepatan yang lebih tinggi dari partikel dalam proses menuju substrat (Reungruthai,2010).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian Gambar



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

3.2.1 Material Substrat

Pada penelitian ini *grey cast iron* FC25 di gunakan sebagai substrat yang akan di proteksi. Material ini sesuai dalam aplikasi yang di peruntukkan untuk pemakaian yg berhubungan dengan gesekan seperti: piston, silinder liner katup hidrolik, cetakan, kopling, spacer, dll. Komposisi dari material substrat ini dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan pada Tabel 3.2 menunjukkan propertis dari material substrat.

Tabel 3.1 Komposisi kimia *Grey cast iron* FC25 (PT. Surya Logam Universal, 2017)

komposisi	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cu%	Cr%
Min.	3.00	2.20	0.20	-	-	-	-
Max.	3.70	2.90	0.70	0.10	0.08	0.30	0.08

Tabel 3.2 Propertis *Grey cast iron* FC25 (PT. Surya Logam Universal, 2017)

Dimensi (mm)	Hardness (BH)	UTS (Mpa)
45	197-229	216

3.2.2 Material Coating

Pada penelitian ini FeCrMnNiCSi (metcoloy 2) *wire* di gunakan sebagai material *coating* yang di aplikasikan pada substrat. Material ini direkomendasikan untuk aplikasi yang memerlukan lapisan keras dengan ketahanan aus yang baik dan perlindungan korosi. komposisi dari material coating ini dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan pada Tabel 3.4 menunjukkan propertis dari material *coating*.



Tabel 3.3 Komposisi kimia FeCrMnNiCS *wire*
(Oerlikon Metco,2015)

Komponen	Kadar (wt%)
Fe	Bal.
Cr	13
Mn	0.5
Ni	0.5
C	0.35
Si	0.25

Tabel 3.4 Propertis Metcoloy 2 (Oerlikon
Metco,2015)

Coating Hardness	HRC 40-45 / BHN 371-421
Bonding Strength	48.95 N/mm ²
Deposit Rate	10 lbs/hr/100A
Service Temperature	Up to 550C 1022F
Condition	Solid Wire
Diameter	1.6mm(14 ga),2.0mm,3.175mm
Package Size	10kg,15kg,or up to client's demand



Gambar 3.2 Metoloy 2 (FeCrMnNiCSi) *wire*
(Oerlikon Metco,2015)



3.2.3 Material Grit Blasting

Aluminum oxide 24 mesh digunakan sebagai *abrasive grit blasting* permukaan yang akan *dicoating*, berfungsi untuk membersihkan permukaan dan membuat profil agar ikatan mekanik antar *coating* dan substrat lebih baik. Adapun komposisi dan propertis dari material *grit blasting* di tunjukkan pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6.

Tabel 3.5 Komposisi Kimia *Brown Aluminum Oxide*(Pearl International Material Safety Data Sheet, 2004)

Komposisi	Wt. %
Aluminum Oxide (Al_2O_3)	96.69%
Titanium Dioxide (TiO_2)	2.52%
Silicon Dioxide (SiO_2)	0.44%
Iron Oxide (Fe_2O_3)	0.10%
Others (MgO , CaO , Cr_2O_3)	0,25%

Tabel 3.6 Propertis *Brown Aluminum Oxide*(Pearl International Material Safety Data Sheet, 2004)

Crystal Form	Alpha-Alumina
True Density	3.95 gr/cm ³
Hardness	Knoop (100) 2050 kg/mm
Melting Point	2000°C
Colour	Brown-Tan

3.2.4 Lem *Ardalite*

Lem ini berfungsi sebagai perekat antara pin dengan spesimen yang akan diuji *pull off test*. Lem *ardalite* yang berwarna biru digunakan sebagai *hardener*, sedangkan yang berwarna putih digunakan sebagai resin.



3.3 Alat Penelitian

Alat-alat yang di gunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Kamera
Digunakan untuk mengambil gambar secara makro dan sebagai dokumentasi selama penelitian.
2. Alat *Wire Arc Spray*
Berfungsi untuk meleburkan FeCrMnNiCSi *wire* dan menyemburkannya ke substrat *Grey cast iron FC25* .
3. Alat *Sandblast*
Untuk membuat profil (kekasaran) pada permukaan spesimen dan membersihkan permukaan spesimen *Grey cast iron FC25* terhadap kontaminan seperti minyak, *scale*, dan karat hingga mencapai standar SA 3
4. Alat Uji *Pull-Off*
Alat ini berfungsi untuk menguji daya lekat antara material *coating* dengan permukaan substrat. Alat ini bernama *PosiTest AT-M Adhesion Tester*.
5. Alat Uji Laju Keausan
Berfungsi untuk mengetahui nilai laju keausan spesimen. Alat ini dinamakan *Pin-on-disk Tribometer*.
6. Alat Uji Kekasaran Permukaan
Berfungsi untuk mengetahui nilai kekasaran permukaan material sampel yang telah *dicoating*.
7. Alat SEM
Berfungsi untuk menganalisa morfologi permukaan yang telah dilapisi material *coating*.
8. Alat Pengujian Kekerasan dengan *Micro Vickers Hardness*
Berfungsi untuk mengetahui nilai kekerasan spesimen pada permukaan hasil *coating*.
9. Pengujian XRD
Berfungsi untuk mengidentifikasi fasa yang terdapat pada material yang telah dilapisi *coating*.



3.4 Metode Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan percobaan untuk mendapatkan hasil yang diharapkan melalui langkah-langkah sebagai berikut :

3.4.1 Preparasi Spesimen *Grey cast iron FC25*

Preparasi sample perlu di lakukan untuk dapat di lakukan pengujian , dengan tahapan sebagai berikut:

1. Melakukan preparasi sample dengan memotong sample roundbar dengan ketebalan 4mm sebanyak 22 buah
2. Selanjutnya melakukan proses sandblasting terlebih dahulu agar memudahkan proses *sand blasting*, karena sample uji yang akan di gunakan berukuran kecil. Pertama membersihkan sample dan memberikan profil permukaan kepada substrat agar material *coating* dapat menempel secara mekanik pada substrat dengan metode *sandblasting* hingga mencapai standar SA 3 menggunakan *brown aluminum oxide*. Persiapan permukaan sand blasting ini dilakukan berdasarkan standar ISO 8501-1.
3. Kemudian memotong spesimen dengan dimensi diameter 45mm x 10mm sebanyak 10, ukuran 10mm x 10mm x 4mm sebanyak 16 buah.



Gambar 3. 3 Alat *Sandblast*

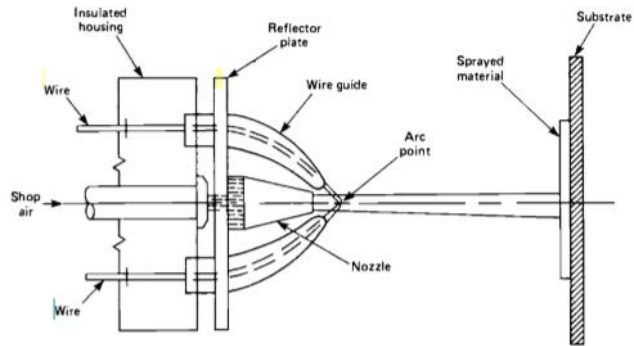


3.4.2 Variasi Tekanan Proses Pelapisan

Pada proses pelapisan, menggunakan parameter *feedstock material*, jarak *nozzle*, sudut *nozzle*, arus listrik, dan voltase yang tetap dengan variasi tekanan gas, sebagai berikut:

1. *Feedstock material*: FeCrMnNiCSi (Metcoloy2)
2. Tekanan gas : 3 bar , 4 bar, 5 bar dan 6 bar
3. Jarak *nozzle* : 200 mm
4. Sudut *nozzle* : 90°
5. Arus listrik : 145Ampere
6. Voltase : 26,7Volts

Proses *wire arc spray* menggunakan 2 wire satu di sebelah kiri dan yang lain di sebelah kanan, wire FeCrMnNiCSi pertama dialiri oleh arus positif, sedangkan FeCrMnNiCSi *wire* kedua dialiri oleh arus negatif, yang menyebabkan kedua *wire* tersebut menimbulkan percikan dan melelehkan FeCrMnNiCSi di dalam *spray gun* yang. Setelah itu, lelehan FeCrMnNiCSi berikan udara bertekanan yang mengakibatkan percikan (*splats*) FeCrMnNiCSi terlempar dari *spray gun* dan terdeposisi di permukaan substrat baja FC25. Tekanan gas yang di gunakan bervariasi yaitu 3 bar,4 bar,5 bar dan 6 bar.



Gambar 3.4. Proses *thermal arc spray*



Gambar 3.5 Alat *Wire Arc Spray*



3.5 Pengujian

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian untuk mendapatkan data yang dibutuhkan guna menjawab tujuan dari penelitian ini. Pengujian tersebut di antaranya :

3.5.1 Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Melakukan pengujian untuk mengamati dan menganalisa permukaan hasil *coating* dan ketebalan lapisan *coating* pada penampang melintang yang dapat diketahui dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope*. Sedangkan komposisi hasil *coating* yang terbentuk pada lapisan *coating* menggunakan EDX. Penelitian ini menggunakan alat SEM FEI S50. Langkah-langkah yang dilakukan dalam menggunakan SEM adalah sebagai berikut :

1. Mengamplas spesimen yang telah dipotong bagian penampang lintang agar rata dan membersihkan bagian penampang melintangnya dengan teliti untuk menghilangkan pengotor lainnya.
2. Meletakkan Spesimen diatas holder yang telah dilekatkan dengan *carbon tape* agar sample tidak terlepas dari holder pada saat pengujian.
3. Memasukkan spesimen yang telah berisi *holder* kedalam mesin SEM.
4. Mengondisikan udara dalam tabung pada alat menjadi vakum dan siap melakukan proses pengamatan.
5. Ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor. Pada layar komputer akan tampak permukaan spesimen dengan berbagai perbesaran yang bisa diatur sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 3.6 *Scanning Electron Microscope*

3.5.2 Pengujian Difraksi Sinar-X (XRD)

Melakukan karakterisasi difraksi Sinar-X (XRD) dengan mesin PAN *analytical* untuk mengetahui struktur kristal dan fase-fase yang terbentuk setelah melalui proses pembuatan sampel uji.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam menggunakan SEM adalah sebagai berikut :

1. Menempatkan sample pada titik fokus hamburan sinar-X yaitu tepat di tengah-tengah *plate* yang berfungsi sebagai wadah yaitu sebuah plat tipis yang berlubang di tengah berukuran sesuai dengan sampel (pelet) dengan perekat pada sisi baliknya.
2. Sampel di tembak oleh sinar X yang kemudian di difraksikan.
3. Sinar X yang di difraksikan di tangkap oleh *X-ray detector* dan menghasilkan grafik pada layar monitor.
4. Data dan grafik hasil pengujian XRD selanjutnya dicocokkan dengan JCPDS (*Joint Committee of Powder Diffraction Standard*) untuk mengetahui struktur kristal yang sesuai.



Gambar 3.7 Mesin XRD PAN analytical

3.5.3 Ketebalan *Coating*

Mengukur ketebalan *coating* dengan menggunakan hasil pengujian SEM pada *cross section*.

3.5.4 Pengujian Adhesi *Coating* Terhadap Substrat

Untuk menganalisis kekuatan adhesi antara *coating* dengan substrat perlu melakukan pengujian *Pull Off Bonding* yang dilakukan dengan menggunakan alat *PosiTest AT-M Adhesion Tester* dengan standar ASTM D-4541. Sebelum melakukan pengujian spesimen di tempelkan *dolly* dengan lem *araldite* dan dibiarkan selama 1 x 24 jam agar lem kering sempurna untuk kemudian dilakukan pengujian. Alat yang digunakan dalam penelitian ini menghasilkan nilai kekuatan lekat dengan satuan MPa.



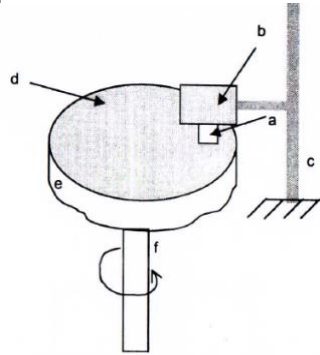


Gambar 3.8 Alat Uji *Pull-Off*

3.5.5 Pengujian Abrasi

Untuk melihat ketahanan spesimen uji terhadap keausan/abrasi, perlu dilakukan uji laju keausan terhadap spesimen yang telah dilakukan proses *coating* dengan variasi tekanan proses. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan metode pin-on-disc, mengacu pada prinsip JIS H 8503.

Sebelum melakukan pengujian langkah yang dilakukan adalah mempersiapkan spesimen dan membersihkannya dari berbagai pengotor yang ada pada permukaan. Setelah itu, melakukan pengukuran dimensi dan menimbang massa. Selanjutnya memasukkan disk ke holding device dan pin ke holder. Lalu memberikan pembebanan yang sesuai untuk pin terhadap disk dan menetapkan rpm yang dibutuhkan (harus konstan). Setelah persiapan selesai, maka pengujian dapat dilakukan. Setelah itu, hasil yang diperoleh dari pengujian ini berupa mass loss, yaitu perubahan massa sebelum dan setelah diekspos pada material abrasif. menimbang berat akhir spesimen untuk mendapatkan nilai laju keausan per jam pada setiap spesimen.



Gambar 3.9 Pin-on-disk Tribometer, skema uji ketahanan aus material (a) spesimen (b) beban (c) holder (d) material abrasif dapat berupa kertas amplas atau batu gerinda (e) piringan pemutar (f) penyangga (Yuswono, 2004)

3.5.6 Kekerasan *Micro Vickers*

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi nilai kekerasan pada spesimen dengan menggunakan metode vickers.

$$HVN = \frac{189 \times F \times 10^3}{d^2} \dots\dots\dots(3.1)$$

HVN : Nilai Kekerasan Vicker's

F : Beban tumbukan (N)

D : Panjang diagonal jejakkan (μm)

Berikut prosedur penggunaan mesin kekerasan:

1. Meletakkan sampel (material) pada meja alat.
2. Mikroskop difokuskan melalui pengatur kasar.



3. Mencari area (fasa) yang akan di indentasi.
4. Area penjajakan pada sampel ditentukan dengan memutar spindel mikrometer.
5. Memberi beban sebesar 500 gf terhadap permukaan sampel selama 30 detik.
6. Mengukur diameter jejakkan arah horisontal (d_1) dan diameter jejakkan arah vertikal (d_2).
7. Nilai kekerasan secara otomatis muncul pada layar monitor.



Gambar 3.10 Mesin uji kekerasan *Micro Vickers*

3.5.7 Surface Roughness Test

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekasaran permukaan sampel yang telah di *coating*. Pengujian ini menggunakan 4 sample dengan ukuran 20 mm x 20 mm. Pengujian ini menggunakan alat uji surface roughness tester elkometer dengan standard JIS20 (dalam satuan mikro meter).

Mekanisme kerja surface roughness tester ini menggunakan *stylus traces* pada permukaan spesimen. *Stylus*



traces ini berfungsi untuk mengukur kekasaran permukaan benda yang disentuh, stylus trace akan melakukan pengukuran sepanjang permukaan benda uji. Hasil yang didapat akan berupa angka secara kuantitatif yang menunjukkan kekasaran permukaan spesimen.



Gambar 3.11 *Surface Roughness Tester*

3.5.8 Pengujian Porositas

Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah volume ruang kosong (rongga pori) yang dimiliki oleh zat padat terhadap jumlah dari volume zat padat itu sendiri. Porositas suatu bahan pada umumnya dinyatakan sebagai porositas terbuka atau *apparent porosity*, dan dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$AP = \frac{W-D}{W-S} \times 100\% \dots\dots\dots(3.2)$$

dimana:

W : Berat kering di udara (gram)

D : Berat awal (gram)

S : Berat basah dalam air (gram)

AP : *Apparent Porosity*



Untuk mengetahui nilai porositas, maka pertama kali dilakukan pengujian densitas. Pengujian densitas menggunakan neraca digital. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian densitas adalah :

1. Menyiapkan spesimen setelah di lakukan pelapisan.
2. Mengkalibrasi neraca digital supaya tepat dititik nol.
3. Menimbang spesimen kering dan di ulangi penimbangan sampai tiga kali untuk memperoleh massa rata-rata.
4. Setelah di dapatkan berat spesimen kering kemudian memasukkan spesimen kering kedalam air dan menimbang dengan neraca digital.
5. Mengulangi penimbangan di dalam air sampai tiga kali untuk memperoleh massa rata-rata.
6. Data yang telah di dapatkan kemudian di hitung menggunakan rumus (3.2).

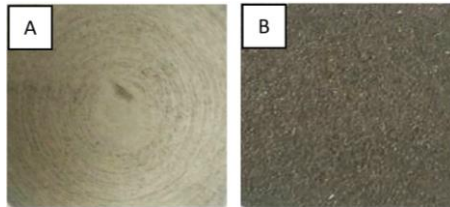
BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis visual

4.1.1 Hasil *Grit Blasting*

Hasil preprasi menggunakan metode *abrasive grit blasting* bertujuan untuk membersihkan permukaan substrat dari pengotor seperti minyak, karat dan cat. Tujuan lain adalah untuk mendapatkan profil kekasaran pada permukaan substrat.

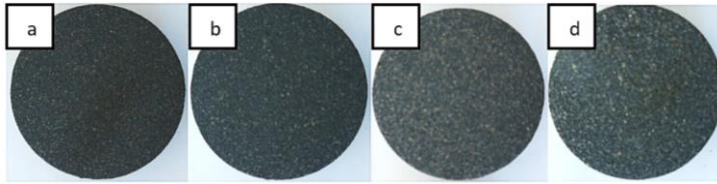


Gambar 4.1 Foto makro permukaan substrat (a) sebelum (b) setelah abrasive blasting

Pada Gambar 4.1 menunjukkan visual makro permukaan sebelum (a) dan setelah (b) dilakukan abrasive grit blasting. Gambar 4.1 menunjukkan permukaan berubah menjadi abu-abu dimana menandakan permukaan yang kasar. Hasil pengukuran kekasaran menunjukkan nilai kekasaran sebelum perlakuan *abrasive blasting* sebesar 31,375 μm dan meningkat setelah mengalami perlakuan sebesar 109,6 μm . Permukaan kasar yang di hasilkan pada substrat guna mendapatkan daerah permukaan yang memungkinkan terjadi ikatan mekanik antara substrat dan material coat (Charta K, 2010).

4.1.2 Hasil Variabel Proses *Thermal Arc Spray*

Proses pelapisan substrat FC25 menggunakan metode *thermal arc spray* dengan material pelapis FeCr. Proses pelapisan di lakukan pada jarak 25 cm untuk setiap sampel. Pada Gambar 4.2 menunjukkan struktur permukaan secara makrografi, tampak lapisan *coating* yang homogen tersebar di atas permukaan substrat.



Gambar 4. 2 Pengamatan visual permukaan sampel (a) 3 bar, (b) 4 bar, (c) 5 bar, dan (d) 6 bar

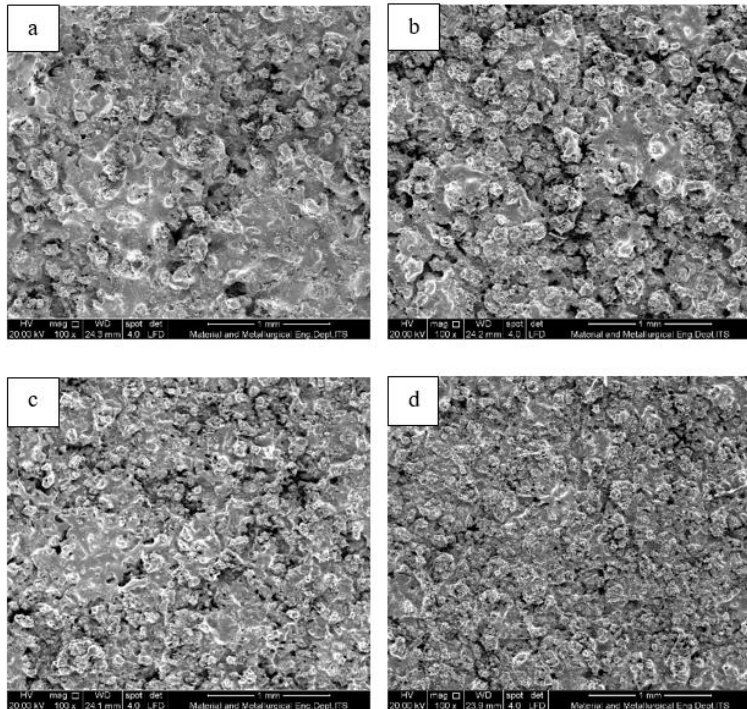
Pengamatan secara visual terlihat dengan perbedaan tekanan pada saat proses pelapisan terjadi perubahan warna. Sampel dengan tekanan paling rendah berwarna abu-abu gelap dan semakin gelap pada setiap peningkatan tekanan udara pada nozzle pada saat proses pelapisan. Perubahan warna yang terjadi dapat disebabkan terjadinya perubahan fasa maupun perbedaan kekasaran pada struktur permukaan lapisan *coating*.

4.2 Hasil Analisis Pengujian SEM/EDS (*Scanning Electron Microscope/ Energy Dispesion Spectroscopy*)

4.2.1 Morfologi Permukaan Lapisan *Coating*

Pengamatan menggunakan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM) di lakukan untuk mengetahui morfologi permukaan lapisan material *coating* dengan perbedaan tekanan udara pada nozzle dalam proses pelapisan. Gambar 4.5 menunjukkan struktur permukaan material *coating* pada empat sampel dengan variasi udara bertekanan pada proses *coating* sebesar 3 bar , 4 bar, 5 bar dan 6 bar.

Pada Gambar 4.3 (a) dengan tekanan udara 3 bar pada nozzle menunjukkan struktur permukaan yang tampak sangat kasar dan memiliki ukuran partikel yang paling besar di antara variasi tekanan yang lainnya sehingga terlihat area *melt* material *coating* tampak jelas. Pada permukaan *coating* juga terlihat terdapat poros yang besar diantara material *melt* karena persebaran *molten metal* yang tidak merata. Pada tekanan 4 bar yang di tunjukkan oleh Gambar 4.3 (b) terlihat struktur permukaan yang masih kasar dengan ukuran partikel *coating* sedikit lebih kecil dan persebaran *molten metal* yang tidak merata.



Gambar 4. 3 Hasil pengamatan SEM permukaan lapisan coating perbesaran 100x. Dengan variasi tekanan udara (a) 3 bar (b) 4 bar (c) 5 bar (d) 6 bar pada nozzle.

Terdapat beberapa poros yang terlihat tersebar dengan ukuran yang lebih kecil.

Pada tekanan 5 bar Gambar 4.3 (c) menunjukkan struktur permukaan yang lebih halus dengan ukuran partikel yang semakin kecil dan persebaran yang merata. Poros yang terbentuk terlihat tersebar namun menunjukkan ukuran yang semakin kecil. Pada Gambar 4.3 (d) dengan tekanan udara 6 bar menunjukkan struktur permukaan yang paling halus dengan ukuran partikel paling kecil dan persebaran yang merata. Ukuran partikel yang kecil mampu mengisi celah antara material *coating* sehingga menghasilkan struktur permukaan yang rapat dan ukuran porositas yang lebih kecil.



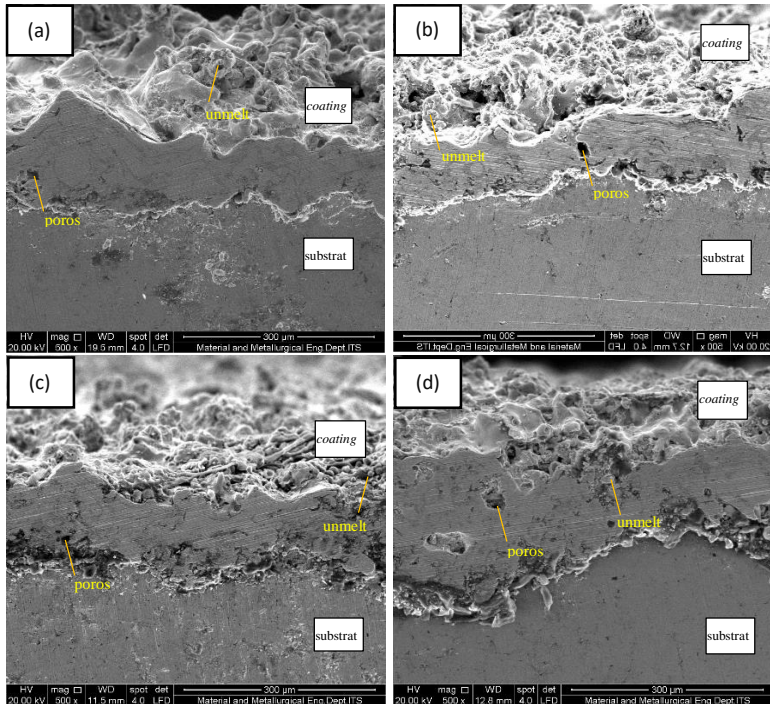
Hal tersebut menunjukkan bahwa peningkatan tekanan udara pada proses *coating* berpengaruh pada struktur permukaan lapisan. Tetesan cairan material *coating* yang di hasilkan akan semakin mengecil seiring dengan peningkatan tekanan udara. Tekanan udara yang semakin tinggi dapat meningkatkan kecepatan udara dan kekuatan hantaman udara pada *droplet*. *Droplet* dari material *coating* di pecah oleh kecepatan dan kekuatan hantaman dari udara. Semakin tinggi tekanan udara yang di gunakan maka *droplet* yang terpecah akan semakin kecil sehingga menghasilkan struktur yang semakin halus. Hal tersebut sesuai dengan pengujian yang telah di lakukan oleh (Prask 2006).

4.2.2 Morfologi Penampang Lintang dan Ketebalan Lapisan Coating

Hasil SEM morfologi bagian penampang melintang lapisan *coating* ditunjukkan pada Gambar 4.4 untuk setiap variabel sampel dengan perbesaran 500x. Pada penampang melintang dapat dilihat morfologi bagian batas (*interface*) dengan material substrat dan material *coating*.

Dapat dilihat pada bagian *interface* pada sampel tidak terlihat merata, hal ini dipengaruhi oleh material coating yang ditembakkan meleleh hingga pada bagian samping substrat saat proses *spraying*. Gambar 4.4 juga menunjukkan pelapisan material *coating* hasil dari proses *thermal spray* tersusun atas layer yang terbentuk dari partikel melt, partikel semi-melt, dan partikel unmelt (Pawlowski 2008).

Hasil proses *coating* tampak pada Gambar 4.4 (a) dengan tekanan 3 bar dimana terlihat struktur permukaan yang kasar. Material *coating* terlihat menumpuk dan *droplet* yang berukuran besar menyebabkan permukaan yang tidak rata. Terlihat terdapat poros yang timbul di antara material *coating*. Pengukuran ketebalan pada hasil SEM menunjukkan nilai sebesar 103,92 μm .

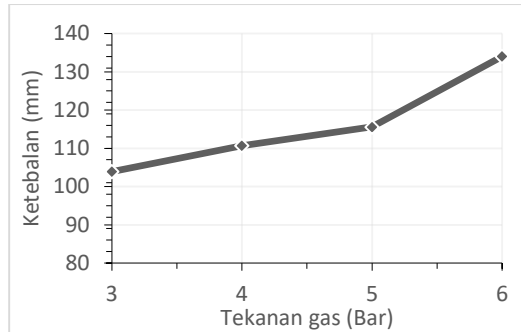


Gambar 4. 4 Hasil uji SEM *cross-section area* perbesaran 500 kali (a) 3 bar (b) 4 bar (c) 5 bar (d) 6 bar.

Gambar 4.4 (c) tekanan 5 bar terlihat memiliki permukaan yang lebih merata dengan partikel *droplet* yang lebih kecil. Namun terlihat material *coating* yang tidak meleleh secara sempurna (*unmelt*) pada permukaan hasil *coating* dan ukuran poros yang lebih kecil. Pada variasi tekanan ini ketebalan material *coat* meningkat yaitu sebesar $115,6 \mu\text{m}$. Pada Gambar 4.4 (d) tekanan 6 bar memiliki struktur permukaan yang serupa dengan tekanan 5 bar namun perbedaan ketebalan terlihat jelas. Pengukuran ketebalan menggunakan hasil SEM menunjukkan nilai sebesar $134,07 \mu\text{m}$.

Perbedaan ketebalan hasil pengukuran pada setiap sampel di tunjukkan pada Gambar 4.5 dimana menunjukkan pola grafik yang meningkat.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.5 Grafik hasil pengukuran ketebalan menggunakan hasil SEM.

Nilai ketebalan yang semakin tinggi dapat di akibatkan oleh tekanan udara pada *nozzle* yang semakin tinggi sehingga memberikan dorongan kepada *droplet* yang semakin cepat yang menyebabkan material *coating* yang terdorong menuju substrat akan semakin banyak (Reungruthai,2010).

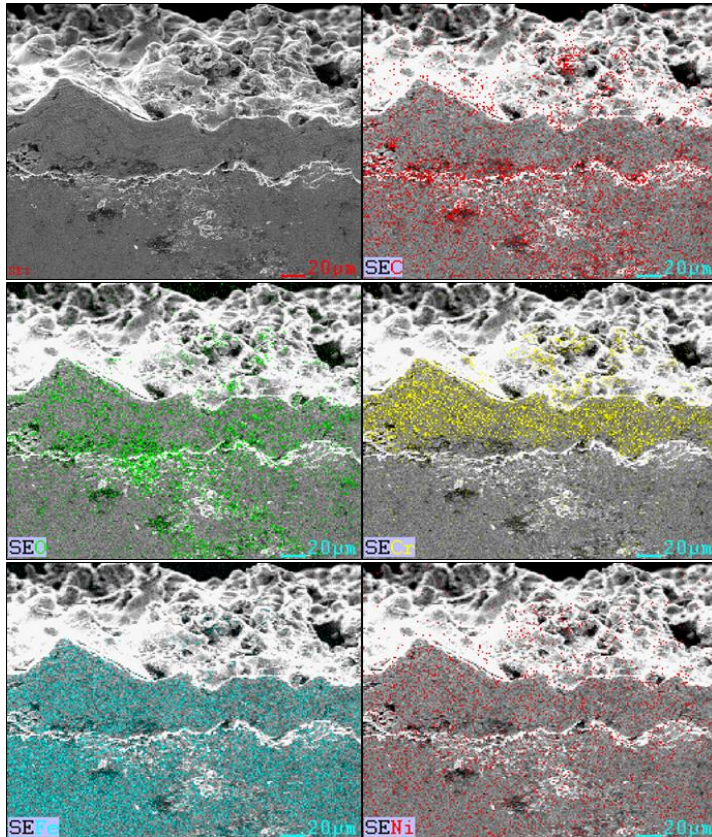
4.2.3 Pengujian EDS (*Energy Dispersion Spectroscopy*)

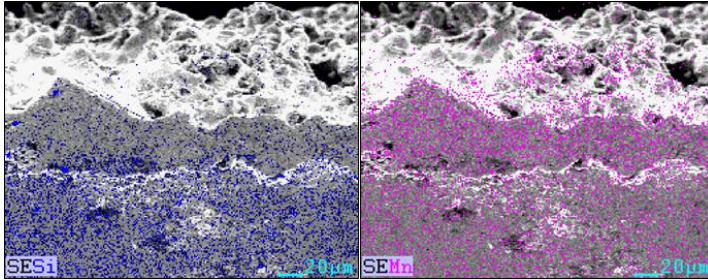
Pengujian EDS *mapping* di lakukan untuk mengetahui persebaran unsur dari material coating pada daerah batas material substrat ,material substrat dan material *coating*. Material *coating* yang dilapiskan pada substrat adalah paduan FeCrMnNiCSi. *Mapping* di lakukan pada area penampang lintang di setiap variasi tekanan proses hasil *coating* dengan perbesaran 500 kali.

Tabel 4.1 Persentase komposisi unsur hasil pengujian EDS

Unsur	3 Bar (Wt%)	4 Bar (Wt%)	5 Bar (Wt%)	6 Bar (Wt %)
C	3,79	4,19	5,51	7,29
O	7,12	4,58	5,44	5,8
Si	2,59	2,47	3,04	2,28
Cr	6,64	3,72	4,33	5,65
Mn	1,83	1,31	0,97	1,26
Fe	77,38	82,8	79,52	76,29
Ni	0,65	0,92	1,18	0,89

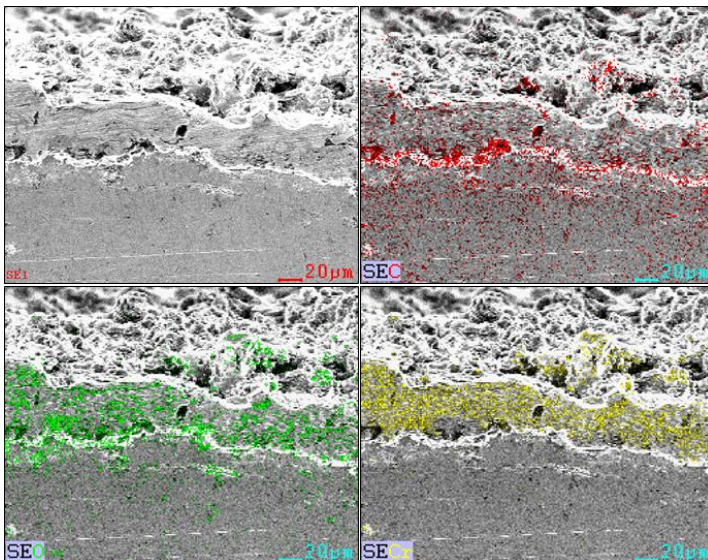
Pada Tabel 4.1 menunjukkan hasil uji SEM/EDS, dapat diketahui unsur –unsur yang terbentuk pada coating adalah C, O, Si, Cr, Mn, Fe, dan Ni.

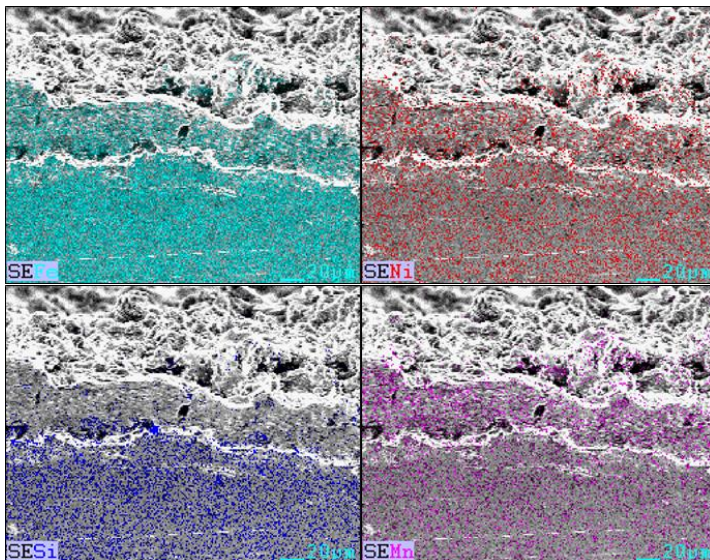




Gambar 4.6 Persebaran unsur material *coating* pada tekanan gas 3 bar.

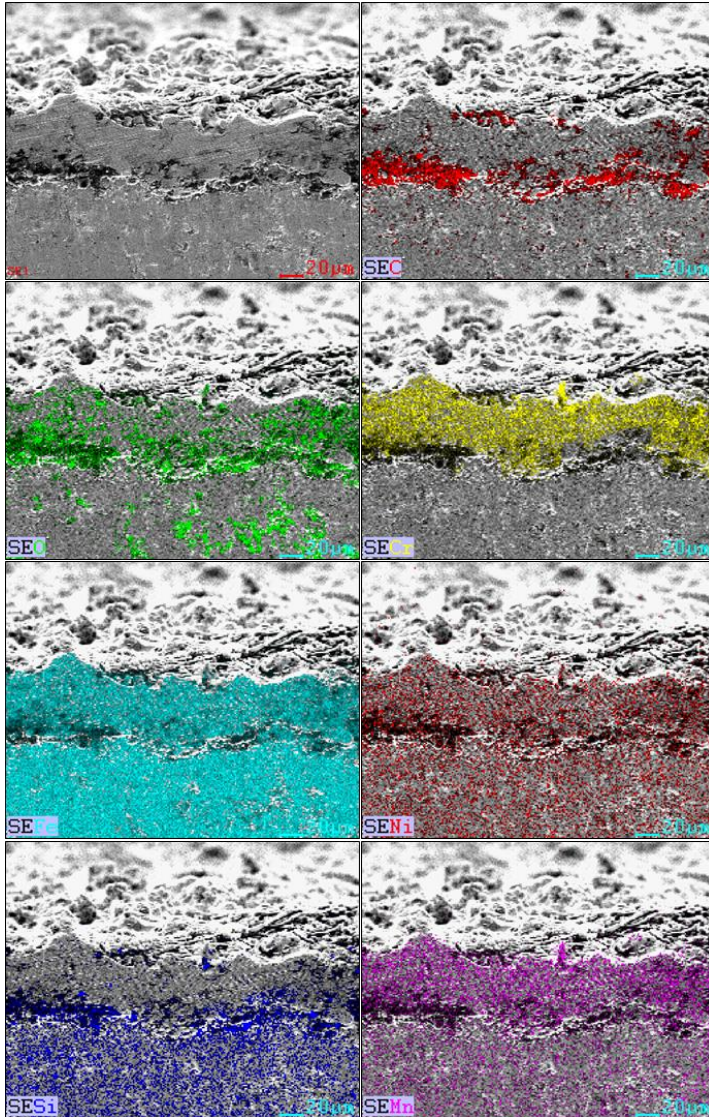
Pada Gambar 4.6 menunjukkan persebaran unsur-unsur dari material *coating* dari hasil pelapisan dengan tekanan gas 3 bar. Terlihat unsur Fe, Ni, Si dan Mn yang memiliki persebaran merata pada material substrat maupun material *coating* dikarenakan terdapat unsur yang serupa pada kedua material tersebut. Persebaran secara merata unsur Cr terdapat pada material *coating*. Unsur C dan O memiliki persebaran terlihat tipis pada material *coating* dan sedikit berkoloni pada daerah *interface*.





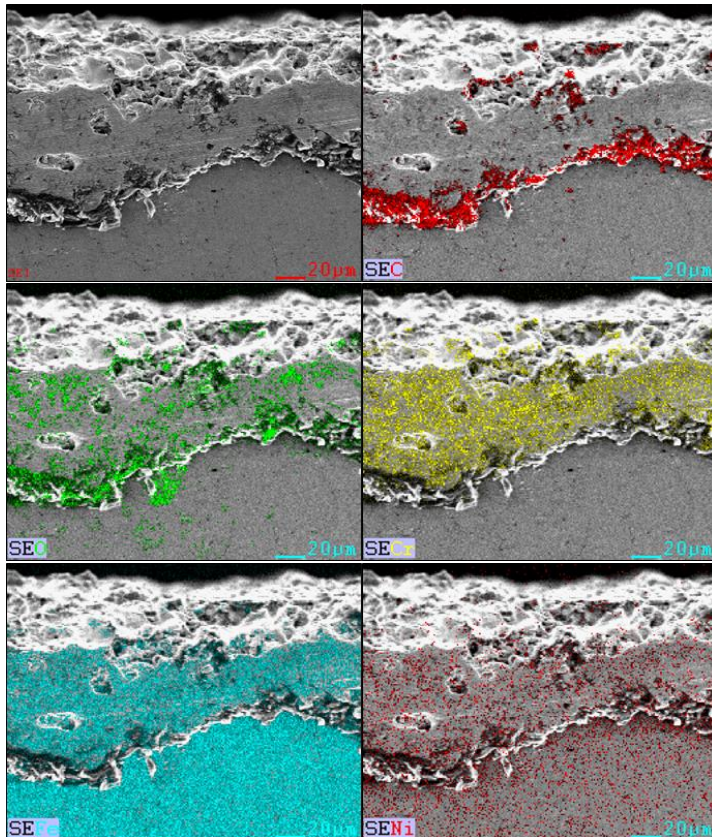
Gambar 4.7 Persebaran unsur material *coating* pada tekanan gas 4 bar.

Pada Gambar 4.7 menunjukkan persebaran unsur-unsur dari material coating dari hasil pelapisan dengan tekanan gas 4 bar. Persebaran unsur yang terkandung pada kedua material seperti Fe, Ni, dan Mn memiliki persebaran yang merata pada substrat dan material *coating*. Unsur Si terlihat lebih tebal pada substrat dikarenakan komposisi Si pada substrat lebih besar dari material *coating*. Persebaran unsur Cr yang merata terdapat pada material *coating*. Unsur C dan O terlihat persebaran yang merata pada material *coating* namun koloni yang terbentuk pada daerah *interface* serupa dengan tekanan 3 bar.

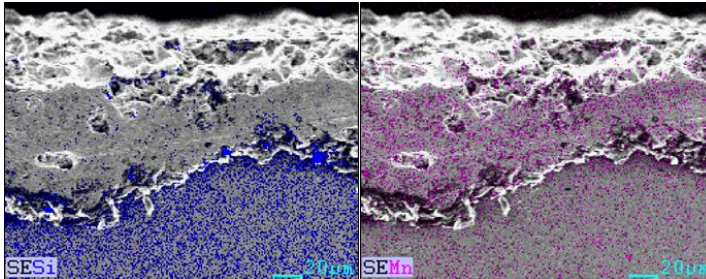


Gambar 4.8 Persebaran unsur material *coating* pada tekanan gas 5 bar.

Pada Gambar 4.8 menunjukkan persebaran unsur-unsur dari material coating dari hasil pelapisan dengan tekanan gas 5 bar. Unsur serupa yang terdapat pada kedua material substrat maupun material *coating* seperti Fe, Ni, dan Mn tersebar secara merata pada kedua material namun terlihat lebih tebal. Persebaran unsur Si terlihat lebih tebal pada material substrat. Unsur Cr menunjukkan persebaran yang serupa dengan variabel tekanan lainnya terdapat pada material *coating*. Persebaran unsur C dan O terlihat membentuk koloni yang tebal pada area *interface* dan pada permukaan *coating* merata pada material *coating* namun koloni yang terbentuk sedikit lebih tebal pada daerah *interface*.



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.9 Persebaran unsur material *coating* pada tekanan gas 6 bar.

Pada Gambar 4.9 menunjukkan persebaran unsur-unsur dari material coating dari hasil pelapisan dengan tekanan gas 6 bar. Persebaran unsur yang terkandung pada kedua material seperti Fe, Ni, dan Mn memiliki persebaran yang merata pada substrat dan material *coating*. Persebaran unsur Si terlihat lebih tebal pada material substrat. Unsur Cr menunjukkan persebaran yang serupa dengan variabel tekanan lainnya terdapat pada material coating. Persebaran unsur C dan O terlihat membentuk koloni yang lebih tebal pada area interface dan pada permukaan coating merata pada material coating namun koloni yang terbentuk sedikit lebih tebal pada daerah interface.

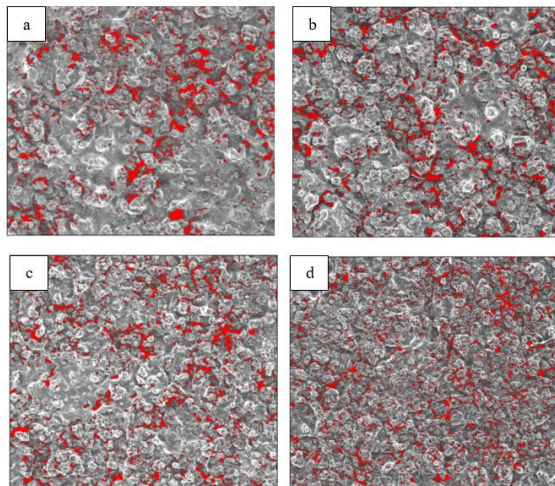
Persebaran unsur C dan O pada setiap peningkatan tekanan gas membentuk koloni yang semakin tebal pada area *interface* maupun permukaan *coating*. Unsur tersebut juga menunjukkan *overlap* dengan unsur lain seperti Cr dan Fe. Selain itu terdapat unsur Ni yang mengalami *overlap* dengan unsur Fe.

4.2.4 Analisis Porous Menggunakan Software Image J

Pengujian menggunakan *software image J* dilakukan untuk mengetahui persentase *porous* yang di hasilkan pada permukaan dan penampang lintang hasil *coating* dengan variasi tekanan pada proses pelapisan. Analisa di lakukan pada permukaan hasil *coating* dan penampang lintang pada setiap sampel dengan menggunakan hasil dari SEM.

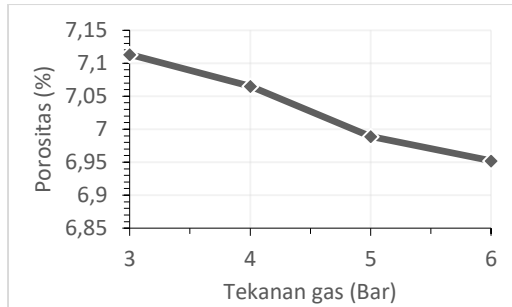
Hasil analisa menggunakan *software image J* di tunjukkan pada Gambar 4.10 dimana terdapat area berwarna merah yang mempresentasikan *porous surface* yang ada pada setiap sampel.

Pada Gambar 4.10 (a) terlihat dengan menggunakan tekanan udara 3 bar pada saat proses pelapisan, *porous* yang dihasilkan tampak lebih lebar (area berwarna merah) di bandingkan dengan tekanan udara yang lebih tinggi. *Porous* yang terbentuk terlihat semakin mengecil pada setiap tingkat kenaikan tekanan yang lebih tinggi.

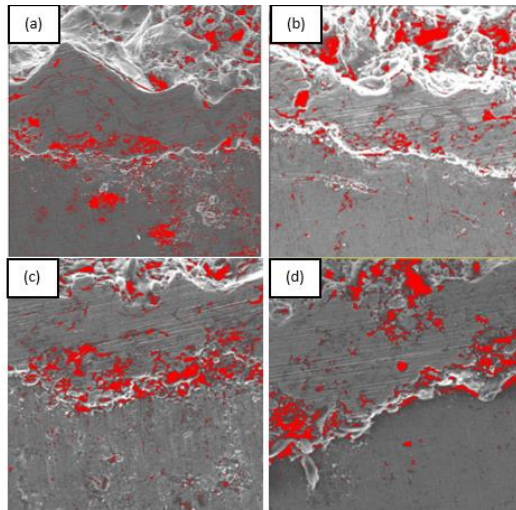


Gambar 4. 10 Hasil analisa *porous surface* dengan Imagej variasi tekanan udara pada proses *coating* (a) 3 bar,(b) 4 bar, (c) 5 bar, (d) 6 bar.

Pada Gambar 4.11 menunjukkan grafik hasil dari analisa menggunakan *software image-j* dimana presentase *porous surface* mengalami penurunan seiring dengan peningkatan tekanan udara pada nozzle saat proses *coating*. Pada tekanan udara 3 bar memiliki persentase *porous surface* yang paling tinggi dengan presentase sebesar 7,113%. *Porous surface* paling rendah terbentuk pada proses pelapisan dengan tekanan udara 6 bar dengan presentase sebesar 6,952%.



Gambar 4.11 Grafik presentase *porous surface* menggunakan *software* imgae J terhadap tekanan udara pada nozzle.

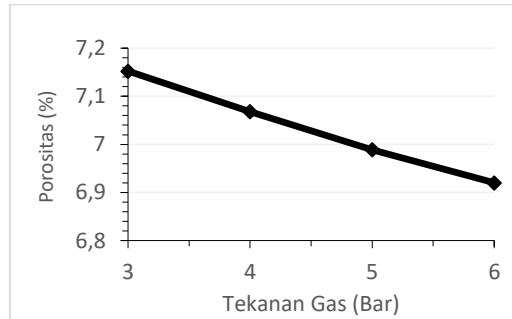


Gambar 4. 12 Hasil analisa *porous surface* penampang lintang dengan Imagej variasi tekanan udara pada proses *coating* (a) 3 bar,(b) 4 bar, (c) 5 bar, (d) 6 bar.

Pada Gambar 4.12 menunjukkan hasil analisis *porous surface* pada penampang lintang. Area berwarna merah menunjukkan *porous*. Pada setiap peningkatan tekanan gas *porous* yang terlihat tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Pada Gambar 4.13 menunjukkan grafik hasil dari analisa penampang lintang menggunakan *software* image-j dimana presentase *porous*



mengalami penurunan seiring dengan peningkatan tekanan udara pada nozzle saat proses *coating*. Pada tekanan udara 3 bar memiliki persentase *porous surface* yang paling tinggi dengan presentase sebesar 7,152%. *Porous surface* penampang lintang paling rendah terbentuk pada proses pelapisan dengan tekanan udara 6 bar dengan presentase sebesar 6,92%.



Gambar 4.13 Grafik presentase *porous surface* menggunakan *software* imgae J terhadap tekanan udara pada nozzle.

4.3 Hasil Pengujian Porositas

Analisis dengan menggunakan perhitungan densitas porositas juga di lakukan untuk mengetahui presentase porositas. Perhitungan densitas porositas menggunakan prinsip hukum *Archimedes*, dimana dilakukan perbandingan volume saat di udara dan di dalam air kemudian dihitung presentase yang merepresentasikan porositas pada permukaan *coating*.

Tabel 4.2 Hasil perhitungan presentase porositas densitas

Variabel Tekanan Gas (Bar)	Porositas (%)
3	19,229
4	19,036
5	16,478
6	14,959

Tabel 4.2 menunjukkan hasil analisis porositas densitas menggunakan prinsip *Archimedes*. Berdasarkan hasil tersebut



didapatkan nilai persentase porositas dengan variabel tekanan udara pada nozzle saat proses *coating*. Hasil perhitungan menunjukkan presentase porositas yang semakin menurun dengan setiap penambahan tekanan udara pada nozzle saat proses *coating*. Hal ini dapat disebabkan karena tekanan udara yang lebih tinggi menghasilkan partikel material *coating* yang lebih kecil sehingga pada saat material *coating* di ekspose menuju substrat, *droplet* akan mampu mengisi celah-celah kecil yang ada dan hal tersebut dapat meningkatkan kerapatan lapisan serta mengurangi porositas (Wang 1999).

4.4 Hasil Pengujian Difraksi Sinar X

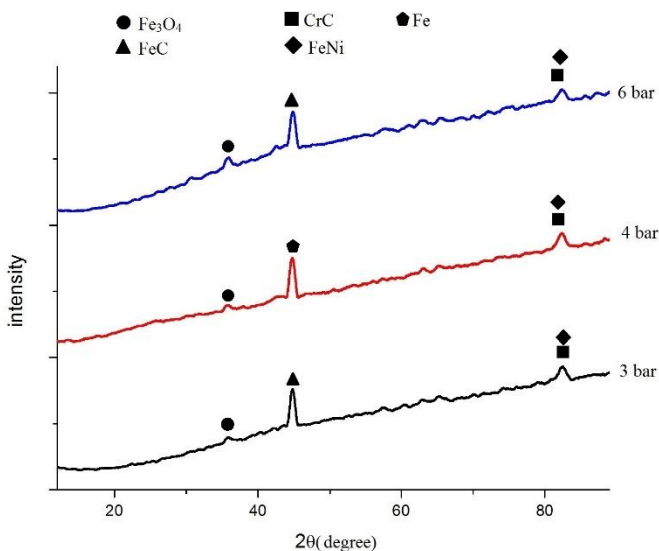
Pengujian menggunakan alat XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan untuk mengetahui senyawa pada lapisan permukaan hasil *coating* dengan variasi udara bertekanan pada proses *coating*. Pengujian dilakukan pada sampel hasil *coating* dengan tekanan udara 3 bar, 4 bar dan tekanan udara 6 bar. Hasil yang didapatkan pada pengujian ini berupa sudut hamburan (2θ) dari sinar x dengan intensitas yang dipresentasikan dalam bentuk grafik.

Pada Gambar 4.14 Menunjukkan grafik hasil pengujian XRD pada permukaan sampel tekanan udara 3 bar, 4 bar dan tekanan udara 6 bar. Grafik yang dihasilkan pada setiap sampel tidak mengalami perubahan yang signifikan. Adanya *peak* yang timbul mengindikasikan bahwa terbentuk senyawa-senyawa baru hasil *coating* dengan variasi tekanan udara. Analisa hasil XRD dilakukan dengan menggunakan *software* Highscore untuk mengetahui senyawa pada *peak* tertinggi hasil pengujian XRD.

Hasil analisis pada Gambar 4.14 menunjukkan pada tekanan udara 3 bar *peak* dengan intensitas tertinggi membentuk senyawa *iron carbide* (FeC) dengan sudut 2θ sebesar $44,917^\circ$ sesuai dengan JCPDS no.01-0743848. Pada variasi ini juga terbentuk senyawa *chrom carbide* (CrC) dan *iron nickel* (FeNi) dengan intensitas sebesar 44.29% dengan sudut 2θ sebesar $82,352^\circ$ dengan kartu JCPDS no.00-011-0550 dan no.00-003-1049. Pada intensitas yang lebih rendah sebesar 13.34% hasil *coating* membentuk senyawa



iron oxide (Fe_3O_4) dengan sudut 2θ sebesar $35,785^\circ$ dengan kartu JCPDS no.01-071-6339. Terbentuknya senyawa *iron oxide* (Fe_2O_3) di sebabkan material *coating* yang bereaksi dengan udara yang di gunakan pada proses pelapisan maupun dari lingkungan udara saat proses berlangsung.

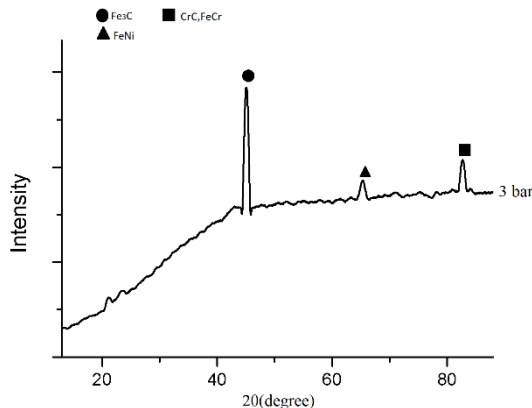


Gambar 4.14 Hasil uji XRD permukaan material *coating* FeCrMnNiCS variasi tekanan udara pada proses *coating*.

Pada Gambar 4.14 tekanan udara 4 bar *peak* tertinggi yang timbul tidak mengalami perubahan. Senyawa yang terbentuk yaitu *iron* (Fe) dengan sudut 2θ sebesar $44,765^\circ$ dengan kartu JCPDS no.01-087-0722. Senyawa *iron oxide* (Fe_2O_3) pada variasi ini berada pada sudut $35,744^\circ$ dengan kartu JCPDS no.00-013-0458 dan intensitas yang menurun menjadi 10.69%. Pada sudut 2θ sebesar $82,352^\circ$ terbentuk senyawa *chrom carbide* (CrC) dan *iron nickel* (FeNi) dengan intensitas sebesar 22.94% dimana mengalami penurunan.

Pada Gambar 4.14 tekanan udara 6 bar *peak* tertinggi yang timbul mengalami perubahan yang signifikan. Senyawa yang terbentuk serupa dengan variasi tekanan udara 3 bar yaitu *iron carbide* (FeC) dengan sudut 2θ sebesar $44,899^\circ$ dengan kartu JCPDS no.01-074-3850. Perbedaan yang terjadi pada variasi ini adalah intensitas senyawa dari *iron oxide* (Fe_2O_3) yang meningkat dengan sudut 2θ sebesar $35,785^\circ$ memiliki intensitas sebesar 35.19%. Peningkatan intensitas yang terjadi dapat dipengaruhi oleh aktifitas selama penyemprotan, pengaruh udara pada proses dan udara sekitarnya yang masuk ke dalam aliran semprotan menyebabkan oksidasi secara signifikan dari partikel logam cair.

Pada pengujian SEM yang telah dilakukan sebelumnya juga menunjukkan ukuran partikel yang semakin kecil pada tekanan udara 6 bar Gambar 4.3 (d). Tetesan ukuran kecil memiliki luas permukaan yang relatif besar. Selama material *coat* di expose menuju substrat, kemungkinan material mengalami oksidasi yang lebih besar dibandingkan dengan tetesan ukuran besar, dan kemungkinan terjadi peningkatan terbentuknya inklusi oksida lebih besar (Valiulis 2003).



Gambar 4.15 Hasil uji XRD penampang lintang material *coating* FeCrMnNiCS variasi tekanan udara 3 bar pada proses *coating*.



Hasil analisis penampang lintang pada Gambar 4.15 menunjukkan pada tekanan udara 3 bar *peak* dengan intensitas tertinggi membentuk senyawa *iron carbide* (Fe_3C) dengan sudut 2θ sebesar $45,068^\circ$ sesuai dengan JCPDS no. 00-003-1056. Pada variasi ini juga terbentuk senyawa *chrom carbide* (CrC) dan *iron chrome* (FeCr) dengan intensitas sebesar 21,86% dengan sudut 2θ sebesar $82,697^\circ$ dengan kartu JCPDS no.00-005-0707 dan no.00-014-0519. Pada intensitas yang lebih rendah sebesar 9,95% hasil *coating* membentuk senyawa *iron nickel* (FeNi) dengan sudut 2θ sebesar $65,186^\circ$ dengan kartu JCPDS no.01-003-1049. Pada intensitas 5,76% senyawa yang terbentuk adalah *silicon oxide* (SiO_2) dengan sudut $20,796^\circ$ dengan kartu JCPDS no.00-014-0260.

Pembentukan senyawa yang terjadi dapat ditinjau dari pengujian EDS *mapping* yang telah dilakukan sebelumnya di tunjukkan pada Gambar 4.6. Terlihat persebaran unsur-unsur yang mengalami *overlap* sehingga terjadi ikatan antar unsur dan membentuk senyawa yang di tunjukkan oleh hasil pengujian XRD pada Gambar 4.15. Hasil juga menunjukkan tidak terbentuknya senyawa oksida, hal ini dapat terjadi dikarenakan unsur oksigen yang muncul pada hasil Gambar 4.6 mengisi celah antara substrat dan material *coat* sehingga tidak berikatan dengan unsur Fe, Cr maupun unsur lain yang dapat membentuk oksida.

4.5 Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan *Coating*

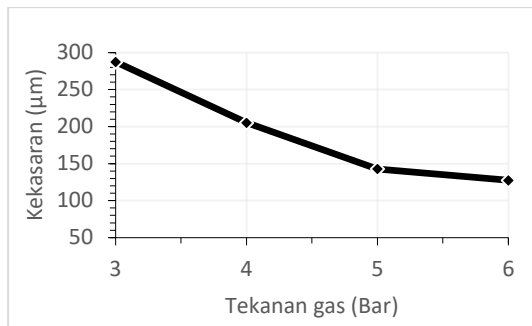
Pengujian kekasaran dilakukan bertujuan untuk mengetahui nilai kekasaran permukaan hasil *coating*. Pengujian yang di lakukan menggunakan alat elkometer yang menunjukkan nilai R_z , yaitu nilai rata-rata jarak vertikal dari puncak tertinggi ke lembah terendah dalam lima panjang sampling yang di peroleh oleh alat uji dengan satuan mikro meter (μm).

Gambar 4.16 menunjukkan grafik hasil pengujian kekasaran pada permukaan hasil *coating* terhadap tekanan udara pada nozzle. Grafik menunjukkan penurunan nilai kekasaran pada tekanan udara pada nozzle yang semakin besar.

Nilai kekasaran permukaan paling tinggi di tunjukkan pada tekanan udara nozzle 3 bar sebesar $287,334 \mu\text{m}$. Nilai kekasaran



yang di peroleh dapat di padukan dengan hasil pengujian morfologi sebelumnya menggunakan SEM pada Gambar 4.3 (a) dimana dengan perbesaran 100x menunjukkan struktur permukaan yang tidak merata dan terdapat porositas.



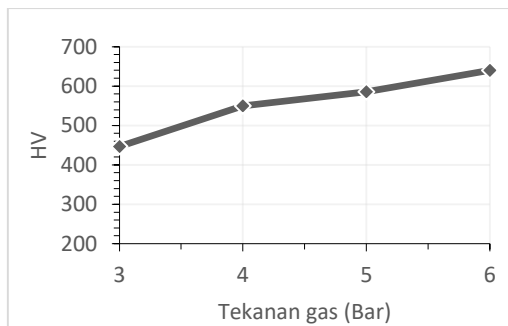
Gambar 4.16 Grafik uji kekasaran terhadap tekanan udara pada *nozzle*.

Nilai kekasaran terendah di peroleh pada sampel dengan tekanan udara 6 bar dengan nilai sebesar 127,333 μm . Peningkatan tekanan menyebabkan permukaan lapisan *coating* lebih halus terbukti pada hasil uji mikrografi terlihat pada Gambar 4.3 (d) dimana tampak partikel material *coat* lebih kecil dan tersebar. Nilai kekasaran menjadi faktor penting dan permukaan yang lebih halus memiliki hubungan yang linear dengan rendahnya koefisien gesek yang akan berpengaruh terhadap ketahanan abrasi dari lapisan *coating* (Pawlowski, 2008).

4.6 Hasil Pengujian Kekerasan Mikro

Pengujian *micro hardness vickers* di lakukan pada lapisan permukaan hasil *coating*. Pengujian di lakukan sebanyak lima titik pada setiap sampel. Nilai kekerasan yang di ambil menggunakan tiga data dengan nilai yang berdekatan dan di rata-rata. Tabel 4.7 menunjukkan hasil uji kekerasan pada setiap sampel dengan variabel udara bertekanan pada *nozzle*. Nilai kekerasan pada variabel tekanan 3 bar di dapatkan sebesar 446,53 HV; Nilai

kekerasan pada variabel tekanan 4 bar didapatkan sebesar 549,56 HV; pada variabel tekanan 5 bar memiliki nilai kekerasan sebesar 585,2 HV; dan nilai kekerasan pada variabel tekanan 6 bar memiliki nilai kekerasan sebesar 639,8 HV.



Gambar 4.17 Grafik nilai kekerasan permukaan terhadap tekanan udara pada *nozzle*.

Pada Gambar 4.17 menunjukkan grafik nilai dari kekerasan permukaan terhadap tekanan udara. Pada Gambar 4.16 grafik menunjukkan peningkatan nilai kekerasan permukaan dari tekanan udara 3 bar memiliki nilai kekerasan terendah yaitu sebesar 446,54 HV dan semakin meningkat pada tekanan 4 bar dan 5 bar. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada tekanan udara 6 bar yaitu sebesar 639,8 HV.

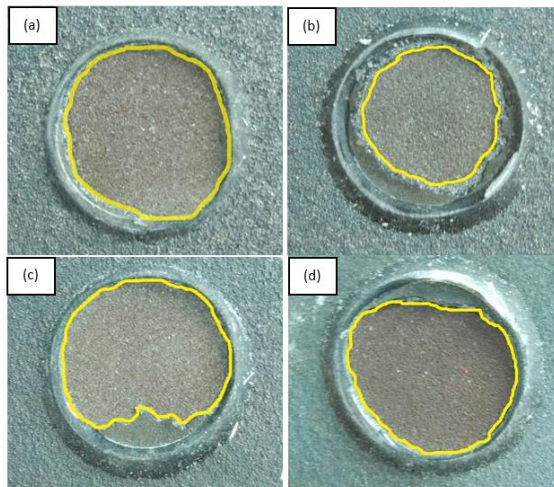
Peningkatan nilai kekerasan dapat terjadi sesuai dengan pengujian porositas yang di lakukan sebelumnya dimana, menunjukkan persentase porositas yang semakin menurun pada setiap kenaikan tekanan udara pada proses *coating* yang menandakan kerapatan antar partikel yang meningkat. Kerapatan yang semakin tinggi meningkatkan kekerasan permukaan *coating* (Prask 2006).

4.7 Hasil Analisis Kekuatan Lekat

Pengujian pull off ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan lekat antara permukaan *coating* dengan substrat sesuai dengan ASTM D-4541. Pengujian di lakukan dengan pengambilan rata-

rata dari pengujian sampel sebanyak 3 sampel dari setiap variabel yang berbeda.

Pada Gambar 4.18 menunjukkan tampak dari permukaan coating setelah pengujian *pull off*. Pada Gambar 4.17 (b) terlihat material *coating* yang tidak terangkat oleh pin/dolly secara sempurna. Hal ini mengindikasikan kekuatan lekat yang tinggi pada tekanan gas 4 bar. Pada Gambar 4.17 (c) dan (d) material *coating* yang terangkat oleh pin kembali membesar menandakan penurunan kekuatan lekat.

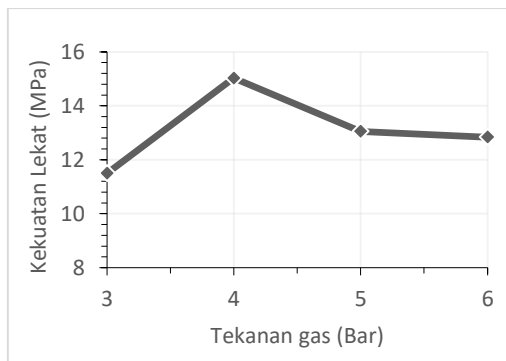


Gambar 4. 18 Permukaan hasil pengujian *pull off* dari hasil pelapisan pada tekanan gas (a) 3 bar, (b) 4 bar, (c) 5 bar dan (d) 6 bar.

Pada Gambar 4.19 menunjukkan grafik hasil kekuatan lekat *coating* pada masing-masing spesimen terhadap variabel udara bertekanan. Dari hasil pengujian di dapatkan nilai kekuatan lekat yang paling rendah terdapat pada tekanan udara 3 bar dengan nilai 11,496 Mpa. Kekuatan *adhesive* paling tinggi terjadi pada tekanan udara 4 bar dengan nilai 15,026 Mpa.

Hal ini dapat di pengaruhi oleh senyawa oksida yang terbentuk dimana semakin rendah oksida yang terbentuk akan meningkatkan kekuatan lekat dari material *coating* (Valiulis

2003). Pada tekanan 4 bar dengan tekanan gas yang lebih tinggi waktu yang di tempuh oleh *molten droplet* akan semakin singkat sehingga kemungkinan unsur oksigen untuk bereaksi akan semakin kecil (Reungruthai,2010).



Gambar 4. 19 Grafik kekuatan adhesi terhadap variasi tekanan udara.

Di sisi lain pada tekanan gas yang semakin tinggi memberikan kekuatan hantaman pada *molten droplet* yang semakin besar sehingga memecah *droplet* yang semakin kecil. *Droplet* yang semakin kecil memberikan luas area yang semakin besar sehingga area yang bereaksi dengan oksigen semakin banyak dan memperbesar kemungkinan terbentuknya oksida.

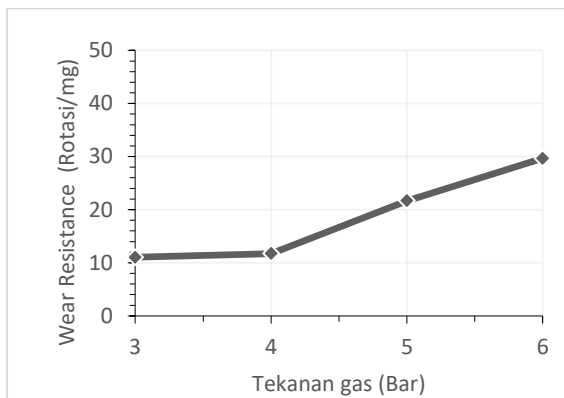
Sehingga di peroleh nilai kekuatan lekat optimum terdapat pada tekanan 4 bar dan hasil kekuatan lekat pada tekanan 5 bar dan 6 bar terjadi penurunan dimana nilai dari masing-masing pengujian adalah 13,05 Mpa dan 12,836 Mpa.

4.8 Hasil Pengujian *Abrasive*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai ketahanan aus pada material coating. Permuakaan lapisan *caoting* di ekspose pada kertas *abrasive grade* 240 dengan diameter 120 mm kemudian di berikan beban sebesar 0,98 Kg. Nilai hasil pengujian ketahanan abrasi atau weight loss dapat dilihat pada Tabel 4.9 pada lampiran.



Pada Gambar 4.20 terlihat grafik yang menunjukkan perubahan nilai ketahanan aus. Setelah melakukan perhitungan, hasil menunjukkan nilai ketahanan aus yang semakin meningkat pada setiap peningkatan tekanan udara pada *nozzle*. Nilai ketahanan aus pada tekanan 3 bar yaitu sebesar 11,049 (rotation/mg). Nilai tersebut terus meningkat hingga pada tekanan udara 6 bar dengan nilai ketahanan aus sebesar 29,66 (rotasi/mg).



Gambar 4. 20 Grafik nilai ketahanan aus terhadap variasi tekanan udara.

Pada Gambar 4.20 terlihat grafik yang menunjukkan perubahan nilai ketahanan aus. Setelah melakukan perhitungan, hasil menunjukkan nilai ketahanan aus yang semakin meningkat pada setiap peningkatan tekanan udara pada *nozzle*. Nilai ketahanan aus pada tekanan 3 bar yaitu sebesar 11,049 (rotation/mg). Nilai tersebut terus meningkat hingga pada tekanan udara 6 bar dengan nilai ketahanan aus sebesar 29,66 (rotasi/mg).

Peningkatan ketahanan aus yang terjadi ini dapat di akibatkan oleh tingkat kekasaran material hasil *coating*. Struktur permukaan yang terbentuk dapat di lihat dari hasil SEM pada Gambar 4. 3. Struktur hasil pelapisan pada tekanan udara 3 bar



terlihat kasar dengan partikel *droplet* yang besar dan semakin halus hingga tekanan 6 bar dengan partikel yang semakin kecil. Pada hasil pengujian kekasaran sebelumnya dapat dilihat pada Gambar 4.16 menunjukkan nilai kekasaran yang semakin halus dari tekanan udara 3 bar hingga ke tekanan 6 bar. Permukaan yang kasar dan tidak merata menyebabkan gesekan yang lebih besar sehingga lebih banyak material *coating* yang tereduksi. Hal tersebut juga dapat di akibatkan dari nilai kekerasan pada permukaan material *coating*. Pengujian akan kekerasan dari material *coating* juga telah dilakukan yang di tunjukkan pada Gambar 4.17 dimana nilai kekerasan menunjukkan peningkatan pada setiap kenaikan tekanan udara pada saat proses *coating*. Nilai kekerasan yang semakin tinggi menyebabkan material *coating* semakin sulit untuk tereduksi.



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data penelitian dan analisis yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Peningkatan tekanan gas pada proses pelapisan menghasilkan partikel yang semakin kecil sehingga porositas semakin menurun.
2. Peningkatan tekanan gas menghasilkan kekasaran permukaan yang semakin kecil/halus. Nilai kekasaran pada tekanan 3 bar sebesar 287,333(μm) dan pada tekanan 6 bar sebesar 127,333(μm).
3. Peningkatan tekanan gas menghasilkan peningkatan kekerasan. Nilai kekerasan pada tekanan 3 bar sebesar 446,533 HV. Pada tekanan 6 bar sebesar 639,8 HV.
4. Nilai pengujian *pull off* optimum terdapat pada tekanan 4 bar dengan nilai sebesar 15,026 (μm).
5. Peningkatan tekanan gas dapat meningkatkan ketahanan abrasi dengan tekanan tertinggi 6 bar memiliki nilai sebesar 29,66 (rotasi/mg).

5.2 Saran

Hasil pelapisan material *coating* FeCrMnNiSiC pada *grey cast iron* sebagai aplikasi silinder liner perlu melalui proses *machining* untuk memperhalus permukaan *coating*.



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Abkenar A.P.,(2007). **“WIRE-ARC SPRAYING SYSTEM: Particle Production, Transport, and Deposition”**. Canada : University of Toronto.
- Agus S., Djoeli S.dan Rochim S. (2007). “Pengaruh Penambahan Unsur Cr dan Cu Terhadap Kekuatan Tarik Besi Cor Kelabu Fc20”. **Semarang: Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP**.
- ASM Handbook. (1994). **“ASM Handbook. Volume 5: Surface Engineering”**. United States of America: ASM International.
- Cartha K., P. Hariyati dan Sulistijono dkk. (2010). “Studi Antar Muka Top Coat Dan Bond Coat Pada Rekayasa Pelapisan Alumina Sebagai Lapisan Perintang Panas Untuk Aplikasi Temperatur Tinggi”. **Surabaya : Jurusan Teknik Material dan Metalurgi,FTI-ITS**.
- Dorfman, M.R. (2005). **“Thermal Spray Coating in Handbook of Environmental Degradation of Materials”**. **Norwich: William Andrew Publishing**.
- Fang J.C., W.J. Xu and Z. Y. Zhao. J. (2004). **Mater Process Tech**.
- Fischer, K.P. 1995. **"Performance History of Thermal-Sprayed Aluminum Coatings in Offshore Service."** *Material Performance*, 34 (4) 27-35.
- Fitrianova L. dan Yuli. S. (2013). “Pengaruh Jarak Nozzle dan Tekanan Gas pada Proses Pelapisan Ni-20cr dengan Metode *Wire Arc Spray* Terhadap Ketahanan *Thermal* ”. **Surabaya : Jurusan Teknik Material dan Metalurgi,FTI-ITS**.
- Higgins, A Raymond. (1984). **“Engineering Metallurgy. Part 1, Fifth Edition.”** London: Hodder and Stoughton.
- Hasry, Muhammad dan Yusuf Kaelani. 2014. "Studi Eksperimental Keausan Permukaan."**Jurnal Teknik Pomits Vol. 3, No. 1, Issn: 2337-3539** .

Hill. 2000.

Jama Jalius. (2008). **“Teknik Sepeda Motor Jilid 1”**. Jakarta :Departemen Pendidikan Nasional.

Jindal. S. Kirpala R., dan Batrab N.K., (2011). *“Wear Behaviour of Ferrous Based Thermal Spray Coatings on A356”*. **Kurukshetra : INPRESSCO.**

Nicoll A.R. (1994). *“Production plasma spraying in the automotive industry”*. in: A European View point: Proceedings of the 7th national thermal spray conference, Boston, USA, pp. 7-17.

Oerlicon metco. (2016). *“An Introduction to Thermal Spray”* – Issue 6 – July 2016

Pawlowski, Lech . (2008). *“The Science and Engineering of Thermal Spray Coating Second Edition ”*. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England: John Wiley & Sons Ltd.

Prask J. Henry, (2006). *“Microstructure, mechanical properties, and adhesion in IN 625 air plasma spray coatings”*.. Material science engineering.

Prawara, B. (2006). "Rancang Bangun Thermal Spray Coating Dengan Menggunakan Sistem *Hight Velocity Oxygen*." Kegiatan: 4977.0127: Rekayasa Peralatan.

Priyan M.S. dan Hariharan P.. (2014). *“Wear and Corrosion Resistance of Fe Based Coatings by HVOF Sprayed on Gray Cast-Iron for Automotive Application”*. **Anna university : Faculty of Engineering.**

Rabinowicz, E., (1995). *“Friction and Wear of Materials, 2nd Edition”*, John Wiley and Sons,

Reungruthai D., Sitichai W. dan, Sukanda, (2010). *“Effect of Spray Parameters on Stainless Steel Arc Sprayed Coating”*. **Thailand : Chiang Mai University.**

- Siegmund, A.J. 1997. "*Metal Alloy; Corrosion Protection for the Future in NACE International Annual Conference epoxy composite coatings on AA2024-T3.*" **Progress in Organic Coatings. Columbus: The Ohio State University.**
- Stachowiak, G. W., Batchelor, A.W., (2005). "**Engineering Tribology**," Elsevier, 3rd ed., Burlington,
- Sugiono S.dan Yuli. S. (2013). "Pengaruh Variasi Sudut Nozzle dan Jarak Nozzle Pada Arc Spray Coating Terhadap Ketahanan Abrasif Lapisan 13% Chrome Steel". **Surabaya : Jurusan Teknik Material dan Metalurgi,FTI-ITS.**
- Tri Tjahjono. (2005). "Analisis Keausan Pada Dinding Silinder Mesin Diesel". **Surakarta : Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.**
- Ting L. L., (1980). "*Lubricated Piston Rings and Cylinder Bore Wear, Wear Control Handbook*". American Society of Mechanical Engineers, p 609-665
- Valiulis A. V., (2003), "*Influence of the Particles Velocity on the Arc Spraying Coating Adhesion*". Vilnius Gediminas Technical University.
- Wang X., J. Heberlein, (1999), "*Effect of Nozzle Configuration, Gas Pressure, and Gas Type on Coating Properties in Wire Arc Spray*". American Society of Mechanical Engineers.
- Yuwono, A.H., (2009). "**Buku Panduan Praktikum Karakterisasi Material 1 Pengujian Merusak (Destructive Testing)**", Departemen Metalurgi Dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta.

LAMPIRAN

1. Hasil Pengukuran Porositas Dengan Menggunakan Image Analysis Image J

Variabel Tekanan (Bar)	Presentase Porositas (%)
3	7,113
4	7,065
5	6,989
6	6,952

2. Hasil perhitungan presentase porositas

Variabel (Bar)	Massa awal (D)	Massa Basah(S) (g)	Massa Kering (W) (g)	Porositas (%)	Rata-rata (%)
3	1,4316	1,4961	1,4166	18,8679	19,2292
	1,4323	1,4967	1,4167	19,5000	
	1,4325	1,4989	1,4166	19,3196	
4	1,3714	1,4230	1,3602	17,8249	19,0366
	1,3721	1,4207	1,3602	19,6586	
	1,3721	1,4208	1,3602	19,6262	
5	1,3905	1,4094	1,3870	15,6483	16,4784
	1,3906	1,4119	1,3860	17,7465	
	1,3907	1,4101	1,3870	16,0405	
6	1,3964	1,4414	1,3888	14,4487	14,9595
	1,3970	1,4419	1,3887	15,6015	
	1,3968	1,4439	1,3886	14,8282	

$$AP = \frac{W-D}{W-S} \times 100\%$$

3. Hasil uji kekasaran permukaan terhadap tekanan udara pada nozzle

Variabel tekanan (bar)	Nilai Kekasaran (μm)	Rata-rata (μm)
3	252	287,3333333
	336	
	274	
4	226	205,3333333
	178	
	212	
5	148	142,6666667
	140	
	140	
6	142	127,3333333
	104	
	136	

4. Hasil uji kekerasan permukaan terhadap tekanan udara pada nozzle

Variabel Tekanan (Bar)	Nilai Microhardness Vickers (HV)
3	446,5333333
4	549,5666667
5	585,2
6	639,8

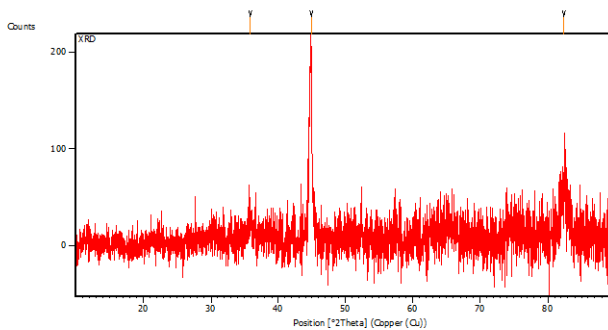
5. Hasil pengujian adhesi terhadap udara bertekanan

Variabel Tekanan (Bar)	Nilai Pull Off (MPa)	Rata-rata (MPa)
3	11,41	11,496667
	12,49	
	10,59	
4	14,98	15,026667
	15,45	
	14,65	
5	12,62	13,05
	10,78	
	15,75	
6	13,68	12,836667
	15,25	
	9,58	

6. Hasil pengujian abrasive terhadap udara bertekanan

Variabel Tekanan (Bar)	Wear Resistance (rotation/mg)
3	11,04947859
4	11,73697855
5	21,68045276
6	29,66051221

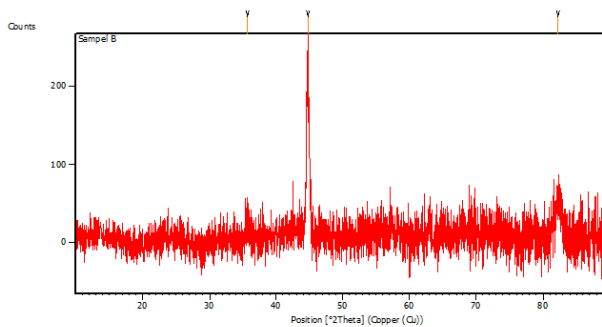
7. Hasil Pengujian XRD Sampel A 3 Bar



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
35.8165	21.11	0.8029	2.50716	13.34
44.9184	158.22	0.2342	2.01802	100.00
82.3777	44.29	0.5353	1.17067	27.99

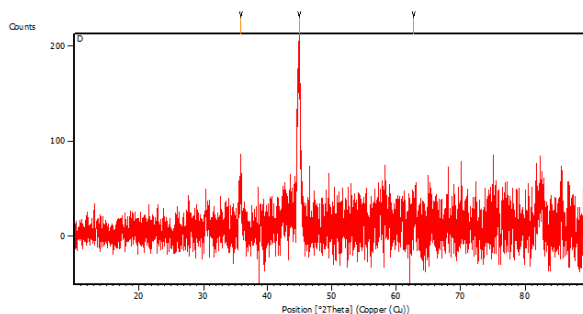
8. Hasil Pengujian XRD Sampel B 4 Bar



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
35.7016	27.52	0.5353	2.51497	10.69
44.7605	257.48	0.1004	2.02478	100.00
82.2662	59.07	0.6691	1.17197	22.94

9. Hasil Pengujian XRD Sampel D 6 Bar



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
35.8310	66.84	0.2676	2.50618	35.19
44.8997	189.93	0.1673	2.01882	100.00
62.7205	19.20	0.8029	1.48138	10.11

10. JCPDS Card No.01-071-6339

Date: 6/14/2017 Time: 12:07:52 PM User: Teknik Material

File: 200

Name and formula

Reference code: 01-071-6339
Compound name: Iron Oxide
Common name: iron diiron(III) oxide, magnetite HP, syn
Empirical formula: Fe_3O_4
Chemical formula: Fe_3O_4

Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic
Space group: $\text{Fd-}3\text{m}$
Space group number: 227
a (Å): 8.3153
b (Å): 8.3153
c (Å): 8.3153
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 90.0000
Volume of cell (10^{-6} nm^3): 574.95
Z: 8.00
RIR: 5.10

Status, subfiles and quality

Status: Diffraction data collected at non ambient pressure
Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
Common Phase
Forensic
ICSD Pattern
Inorganic
Mineral
Quality: Star (5)

Comments

Date: 6/14/2017 Time: 12:07:52 PM User: Teknik Material

File: 200

ANX: AB2X4
Creation Date: 11/20/2008
Modification Date: 1/19/2011
ANX: AB2X4
Analysis: Fe3 O4
Formula from original source: Fe3 O4
ICSD Collection Code: 77592
Pressure of Data Collection: 4500 MPa
Wydoff Sequence: e d a(FD3-MZ)
Unit Cell Data Source: Single Crystal.

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*
Structure: Finger, L.W., Hazen, R.M., Hofmeister, A.M., *Phys. Chem. Miner.*, **13**, 215, (1986)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	1	1	4.80080	18.456	8.7
2	2	2	0	2.93990	30.379	29.4
3	3	1	1	2.50720	35.785	100.0
4	2	2	2	2.40040	37.435	7.7
5	4	0	0	2.07880	43.499	20.7
6	3	3	1	1.90770	47.630	0.6
7	4	2	2	1.69740	53.977	8.6
8	5	1	1	1.60030	57.547	28.1
9	4	4	0	1.47000	63.204	36.9
10	5	3	1	1.40550	66.468	0.8
11	4	4	2	1.38590	67.533	0.1
12	6	2	0	1.31480	71.729	2.8
13	5	3	3	1.26810	74.810	7.1
14	6	2	2	1.25360	75.827	2.9
15	4	4	4	1.20020	79.854	2.2
16	5	5	1	1.16440	82.835	0.4
17	6	4	2	1.11120	87.770	2.9
18	7	3	1	1.08260	90.719	10.0
19	8	0	0	1.03940	95.651	3.8
20	7	3	3	1.01590	96.619	0.1
21	6	4	4	1.00640	99.616	0.1
22	8	2	2	0.98000	103.630	1.4
23	7	5	1	0.96020	106.687	5.5

24	6	6	2	0.95380	107.726	1.1
25	8	4	0	0.92970	111.900	2.3
26	9	1	1	0.91270	115.126	0.2
27	8	4	2	0.90730	116.207	0.1
28	6	6	4	0.88640	120.690	0.6
29	9	3	1	0.87170	124.178	4.1
30	8	4	4	0.84870	130.358	8.7
31	9	3	3	0.83570	134.364	0.1
32	8	6	2	0.81540	141.709	1.8
33	9	5	1	0.80390	146.752	5.3
34	10	2	2	0.80010	148.627	1.2

11. JCPDS Card No.01-074-3848

Name and formula

Reference code:	01-074-3848
Mineral name:	Cohenite
Compound name:	Iron Carbide
Common name:	Cohenite, syn
Empirical formula:	CFe ₃
Chemical formula:	Fe ₃ C

Crystallographic parameters

Crystal system:	Orthorhombic
Space group:	Pnma
Space group number:	62
a (Å):	5.0796
b (Å):	6.7600
c (Å):	4.5180
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Volume of cell (10 ⁻⁶ pm ³):	155.14
Z:	4.00
RIR:	1.79

Status, subfiles and quality

Status:	Diffraction data collected at non ambient temperature
	Alternate Pattern
Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic
	Common Phase
	ICSD Pattern
	Inorganic
	Mineral
Quality:	Blank (B)

Comments

ANX: NO3
 Creation Date: 11/20/2008
 Modification Date: 1/19/2011
 ANX: NO3
 Analysis: C1 Fe3
 Formula from original source: Fe3 C
 ICSD Collection Code: 99022
 Temperature of Data Collection: 400 K
 Wyckoff Sequence: d c2(PNMA)
 Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*
 Structure: Wood, I.G., Vocadlo, L., Knight, K.S., Dobson, D.P., Marshall, W.G., Price, G.D., Brodholt,

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	1	3.75630	23.667	3.3
2	1	0	1	3.38000	26.347	3.8
3	0	2	0	3.38000	26.347	3.8
4	1	1	1	3.02020	29.553	1.5
5	2	0	0	2.53980	35.311	3.8
6	1	2	1	2.38860	37.627	29.5
7	2	1	0	2.37750	37.809	20.6
8	0	0	2	2.25900	39.875	24.0
9	2	0	1	2.21400	40.721	17.6
10	2	1	1	2.10400	42.952	59.9
11	1	0	2	2.06410	43.825	57.9
12	2	2	0	2.03050	44.589	73.9
13	0	3	1	2.01640	44.917	100.0
14	1	1	2	1.97410	45.934	46.5
15	1	3	1	1.87420	48.536	28.1
16	2	2	1	1.85200	49.156	45.3
17	1	2	2	1.76160	51.860	22.1
18	0	4	0	1.69000	54.233	6.5
19	2	0	2	1.69000	54.233	6.5
20	2	3	0	1.68560	54.386	9.1
21	2	1	2	1.63770	56.115	5.0
22	3	0	1	1.58550	58.135	12.6

23	2	3	1	1.57920	56.389	1.6
24	3	1	1	1.54360	59.871	4.0
25	1	3	2	1.52200	60.810	1.3
26	1	4	1	1.51010	61.341	9.3
27	2	2	2	1.51010	61.341	9.3
28	0	1	3	1.47000	63.204	0.1
29	1	0	3	1.44390	64.483	0.3
30	3	2	1	1.43540	64.911	0.4
31	1	1	3	1.41200	66.123	1.9
32	2	4	0	1.40700	66.388	2.5
33	0	4	2	1.35320	69.395	0.7
34	2	3	2	1.35090	69.530	0.9
35	2	4	1	1.34340	69.975	0.5
36	1	2	3	1.32780	70.920	14.6
37	3	1	2	1.32780	70.920	14.6
38	1	4	2	1.30760	72.186	0.5
39	0	5	1	1.29520	72.987	2.0
40	2	0	3	1.29520	72.987	2.0
41	4	0	0	1.26990	74.686	0.3
42	3	2	2	1.25760	75.543	3.9
43	1	5	1	1.25510	75.720	2.2
44	4	1	0	1.24810	76.221	0.1
45	4	0	1	1.22250	78.115	11.2
46	1	3	3	1.21570	78.636	12.2
47	2	2	3	1.20960	79.111	0.2
48	4	1	1	1.20300	79.631	1.3
49	2	5	0	1.19340	80.401	4.9
50	2	4	2	1.19340	80.401	4.9
51	4	2	0	1.18680	80.777	0.6
52	3	3	2	1.16110	83.123	13.2
53	3	4	1	1.15630	83.545	1.4
54	2	5	1	1.15390	83.758	10.7
55	4	2	1	1.14560	84.143	1.2

12. JCPDS Card No.00-011-0550

Name and formula

Reference code:	00-011-0550
Compound name:	Chromium Carbide
Empirical formula:	C ₇ Cr ₇
Chemical formula:	Cr ₇ C ₇

Crystallographic parameters

Crystal system:	Hexagonal
Space group:	P31c
Space group number:	159
a (Å):	13.9800
b (Å):	13.9800
c (Å):	4.5230
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	120.0000
Calculated density (g/cm ³):	6.94
Measured density (g/cm ³):	6.90
Volume of cell (10 ⁻⁶ cm ³):	765.55
Z:	8.00

RIR: -

Subfiles and quality

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
Common Phase
Quality: Inorganic
Blank (B)

Comments

Creation Date: 1/1/1970
Modification Date: 1/11/2011

Date: 6/14/2017 Time: 1:35:08 PM User: Teknik Material File: XRD

General Comments: X-ray diffraction pattern is free of carbide impurities. Metallographic studies showed contamination only inclusions, probably oxides (not detected in the X-ray pattern)

Sample Preparation: Sample prepared in a multiple hearth Button furnace; water cooled copper crucible; argon atmosphere; uniform melting; annealed at a high temperature for about 8 hours

Sample Source or Locality: Work initiated by Andre Amy, J., Department of Chemistry, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan,

Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

References

Primary reference: Westbrook, J., Research Laboratory, General Electric Company, Schenectady, New York, USA., *Private & Unit cell*

Westgren, *Jernkonkrets Ann.*, **119**, 231, (1935)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	3	1	1	2.68000	33.408	20.0
2	3	2	1	2.35000	38.269	20.0
3	4	1	1	2.28000	39.492	70.0
4	1	0	2	2.22000	40.606	50.0
5	5	0	1	2.14000	42.195	50.0
6	2	0	2	2.12000	42.612	70.0
7	4	2	1	2.04000	44.370	100.0
8	6	0	0	2.02000	44.653	50.0
9	5	1	1	1.96000	46.284	70.0
10	2	2	2	1.90000	47.835	50.0
11	6	0	1	1.84000	49.498	60.0
12	4	0	2	1.81000	50.375	70.0
13	5	2	1	1.78000	51.285	50.0
14	4	4	0	1.75000	52.230	70.0
15	6	1	1	1.71000	53.547	60.0
16	3	3	2	1.62000	56.783	60.0
17	7	1	1	1.51000	61.345	50.0
18	8	0	1	1.43500	64.931	70.0
19	4	0	3	1.35000	69.583	80.0
20	6	4	1	1.33000	70.785	50.0
21	8	2	0	1.32000	71.403	30.0
22	9	0	1	1.29000	73.330	30.0
23	5	0	3	1.28000	73.997	60.0
24	9	1	0	1.27000	74.679	30.0
25	4	2	3	1.26000	75.374	70.0
26	5	1	3	1.24000	76.809	20.0
27				1.22700	77.775	60.0
28				1.21500	78.690	60.0

Date: 6/14/2017 Time: 1:35:08 PM User: Teknik Material File: XRD

29	7	4	1	1.21000	79.079	80.0
30	9	2	0	1.19400	80.353	50.0
31	5	5	2	1.18600	80.642	100.0
32				1.17400	82.011	70.0
33	10	0	1	1.17000	82.352	100.0

13. JCPDS Card No.00-003-1049

Date: 6/14/2017 Time: 1:22:24 PM User: Teknik Material

File: XRD

Name and formula

Reference code: 00-003-1049
Mineral name: Kamacite (NR)
Compound name: Iron Nickel
Empirical formula: FeNi
Chemical formula: FeNi

Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic
a (Å): 2.8590
b (Å): 2.8590
c (Å): 2.8590
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 90.0000
Volume of cell (10⁶ pm³): 23.37
RIR: -

Status, subfiles and quality

Status: Marked as deleted by ICDD
Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
Inorganic
Mineral
Quality: Blank (B)

Comments

Creation Date: 1/1/1970
Modification Date: 1/11/2011
Analysis: Chemical analysis (wt %): Fe 93.80, Ni 4.81, Co 0.51, Cu 0.005, P 0.19, S 0.01. I
November 1956. General Comments: Meteoric iron.

Date: 6/14/2017 Time: 1:22:24 PM User: Teknik Material

File: XRD

References

Primary reference: Jung., *Z. Kristallogr., Kristallgeom., Kristallphys., Kristallchem.*, **65**, 331, (1927)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	2.02000	44.833	100.0
2	2	0	0	1.43000	65.186	60.0
3	2	1	1	1.17000	82.352	100.0

14. JCPDS Card No.00-013-0458

Date: 6/14/2017 Time: 12:03:31 PM User: Teknik Material

File: 200

Name and formula

Reference code: 00-013-0458
Mineral name: Maghemite-Q, syn
Compound name: Iron Oxide
Common name: γ -Fe₂O₃
Empirical formula: Fe₂O₃
Chemical formula: Fe₂O₃

Crystallographic parameters

Crystal system: Tetragonal
Space group: PE
a (Å): 8.3380
b (Å): 8.3380
c (Å): 25.0100
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 90.0000
Volume of cell (10⁻⁶ nm³): 1738.75
Z: 32.00
RIR: -

Status, subfiles and quality

Status: Marked as deleted by ICDD
Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
Excipient
Inorganic
Mineral
Pharmaceutical
Quality: Indexed (f)

Comments

Date: 6/14/2017 Time: 12:03:31 PM User: Teknik Material

File: 200

Creation Date: 1/1/1970
Modification Date: 1/11/2011
Deleted Or Rejected By: Deleted by 00-015-0615
Sample Source or Locality: Specimen prepared from α -Fe₂O₃ by dry method.

References

Primary reference: Dasgupta., *Geol. Survey Calcutta, India*
Unit cell: Bernal. et al., *Clay Miner. Bull.*, 4, 15, (1959)

-- . . .

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I (%)
1	1	0	1	7.91000	11.177	10.0
2	1	0	2	6.93400	12.756	20.0
3	0	0	4	6.32800	13.984	10.0
4	1	0	3	5.88700	15.037	40.0
5	1	1	2	5.32600	16.632	10.0
6	1	1	3	4.81000	18.431	40.0
7	1	0	6	3.72100	23.895	60.0
8	1	1	6	3.39800	26.205	60.0
9	2	0	5	3.19800	27.876	30.0
10	2	0	6	2.94400	30.336	90.0
11	0	0	9	2.77600	32.220	30.0
12	2	0	7	2.70800	33.052	20.0
13	1	0	9	2.63400	34.009	30.0
14	2	1	7	2.57800	34.771	20.0
15	1	1	9	2.51000	35.744	100.0
16	2	2	6	2.40400	37.377	20.0
17	2	0	9	2.30900	38.976	20.0
18	2	1	9	2.22400	40.529	10.0
19	3	2	4	2.16700	41.644	10.0
20	0	0	12	2.08200	43.429	90.0
21	2	1	12	1.81800	50.138	80.0
22	4	1	8	1.69900	53.922	40.0
23	5	0	1	1.66500	55.116	10.0
24	5	1	1	1.63300	56.291	10.0
25	4	2	8	1.60200	57.480	90.0
26	5	2	1	1.54600	59.769	20.0
27	2	1	15	1.52000	60.899	20.0
28	4	4	1	1.47200	63.108	90.0
29	6	2	1	1.31700	71.590	30.0
30	3	3	15	1.27100	74.610	30.0

Date: 6/14/2017 Time: 12:03:31 PM User: Teknik Material

31	6	3	5	1.20700	79.315	20.0
32	4	2	18	1.11400	87.494	20.0
33	3	1	21	1.08530	90.430	40.0
34	0	0	24	1.04190	95.347	30.0
35	2	2	24	0.98240	103.275	30.0
36				0.96270	106.288	40.0
37				0.93210	111.464	20.0

15. JCPDS Card No.01-087-0722

Date: 6/14/2017 Time: 11:28:22 AM User: Teknik Material

File: 200

Name and formula

Reference code: 01-087-0722

Mineral name: Iron, syn

Compound name: Iron

Common name: iron high

Empirical formula: Fe

Chemical formula: Fe

Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic

Space group: Im-3m

Space group number: 229

a (Å): 2.8608

b (Å): 2.8608

c (Å): 2.8608

Alpha (°): 90.0000

Beta (°): 90.0000

Gamma (°): 90.0000

Volume of cell (10^{-6} nm^3): 23.41

Z: 2.00

RIR: 10.76

Status, subfiles and quality

Status: Diffraction data collected at non ambient temperature

Alternate Pattern

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic

Common Phase

Forensic

ICSD Pattern

Inorganic

Mineral

Quality: Indexed (f)

Date: 6/14/2017 Time: 11:28:22 AM User: Teknik Material

File: 200

Comments

ANX: N

Creation Date: 11/20/2008

Modification Date: 1/19/2011

ANX: N

Analysis: Fe1

Formula from original source: Fe

ICSD Collection Code: 64999

Calculated Pattern Original Remarks: Stable below 1185 K (2nd ref., Tomaszewski), 1185-1667 K:
No R factors reported/abstracted. Wyckoff Sequence: a(1M3-M). Un

References

Primary reference: Owen, E.A., Williams, G.L., *Golden Book of Phase Transitions, Wrocław*, **1**, 1, (2002)
Structure: Owen, E.A., Williams, G.L., *J. Sci. Instrum.*, **31**, 49, (1954)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	2.02290	44.765	100.0
2	2	0	0	1.43040	65.166	11.7
3	2	1	1	1.16790	82.533	18.0
4	2	2	0	1.01140	99.214	4.7
5	3	1	0	0.90470	116.738	6.4
6	2	2	2	0.82580	137.749	1.7

16. JCPDS Card No.01-074-3850

Date: 6/14/2017 Time: 11:51:37 AM User: Teknik Material

File: 200

Name and formula

Reference code: 01-074-3850
Mineral name: Cohenite
Compound name: Iron Carbide
Common name: Cohenite, syn
Empirical formula: CFe_3
Chemical formula: Fe_3C

Crystallographic parameters

Crystal system: Orthorhombic
Space group: $Pnma$
Space group number: 62
a (Å): 5.0783
b (Å): 6.7630
c (Å): 4.5184
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 90.0000
Volume of cell (10^6 pm^3): 155.18
Z: 4.00
RIR: 1.81

Status, subfiles and quality

Status: Diffraction data collected at non ambient temperature
Alternate Pattern
Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
Common Phase
ICSD Pattern
Inorganic

Quality: Mineral
Blank (B)

Date: 6/14/2017 Time: 11:51:37 AM User: Teknik Material

File: 200

Comments

ANX: NO3
Creation Date: 11/20/2008
Modification Date: 1/19/2011
ANX: NO3
Analysis: C1 Fe3
Formula from original source: Fe3 C
ICSD Collection Code: 99024
Temperature of Data Collection: 440 K
Wyckoff Sequence: d c2(PNMA)
Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*
Structure: Wood, I.G., Vocadlo, L., Knight, K.S., Dobson, D

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	1	3.75700	23.663	3.6
2	0	2	0	3.38150	26.335	3.5
3	1	0	1	3.38150	26.335	3.5
4	1	1	1	3.02030	29.552	1.9
5	2	0	0	2.53920	35.319	3.5
6	1	2	1	2.38900	37.621	27.3
7	2	1	0	2.37710	37.816	20.4
8	0	0	2	2.25920	39.871	24.0
9	2	0	1	2.21360	40.728	16.9
10	2	1	1	2.10380	42.956	59.4
11	1	0	2	2.06420	43.823	58.2
12	2	2	0	2.03040	44.591	72.2
13	0	3	1	2.01720	44.899	100.0
14	1	1	2	1.97420	45.932	45.2
15	1	3	1	1.87470	48.522	28.7
16	2	2	1	1.85200	49.156	44.9
17	1	2	2	1.76180	51.854	22.2
18	0	4	0	1.69080	54.205	7.9
19	2	3	0	1.68580	54.379	9.2
20	2	0	2	1.68580	54.379	9.2
21	2	1	2	1.63760	56.118	5.2
22	3	0	1	1.58520	58.147	12.4

17. Komposisi FC 25

CAST IRON BAR

GREY CAST IRON BAR

SHAPE:
Round bar, Length ± 10' (3.1 meter)

TOLERANCE:
± 1 mm

APPLICATION:
Piston, bearing, manifold, impellers,
v-block, sleeves, puli, gears,
glass molding, sprocket

EXCELLENCE:
Malleable, vibration dampers

EQUIVALENT STANDARD MATERIAL CODES

JEPANG JIS : G5501 FC25/35

AMERIKA ASTM : A 48-92 Klas 35-40

INGGRIS BS : 1452-90 Grade 17

JERMAN DIN : 1691-85 GG 35

INTERNASIONAL ISO : 185-88 250-350

INTERNASIONAL AS : 1830 T 250

MECHANICAL PROPERTIES

CLASS	SYMBOL	SAMPLE DIAMETER (mm)	TENSILE STRENGTH (N/mm ²)	FLEXURAL PERFORMANCE		BRINELL HARDNESS (HB)
				Max Load (N)	Deflection (mm)	
4	FC25	13	Min. 275	Min. 2160	Min. 2.0	Max. 269
		20	Min. 255	Min. 4900	Min. 3.0	Max. 248
		45	Min. 216	Min. 22560	Min. 7.0	Max. 229
5	FC30	20	Min. 304	Min. 5390	Min. 3.5	Max. 269
		45	Min. 256	Min. 25500	Min. 7.5	Max. 248
		20	Min. 361	Min. 5880	Min. 3.5	Max. 285
6	FC35	45	Min. 314	Min. 28440	Min. 7.5	Max. 269

CHEMICAL COMPOSITION (%)

Al	Cu	Ni	P	Si	S	Mn	C	Cr	Ti	Mo
Max. 0.01	Maks. 0.3	Max. 0.08	Max. 0.1	2.2 - 2.9	Max. 0.08	0.2 - 0.7	3.0 - 3.7	Max. 0.08	Max. 0.05	Max. 0.1

18. JCPDS Card No.00-003-1056

Name and formula

Reference code: 00-003-1056

Compound name: Iron Carbide

Common name: cementite

Empirical formula: CFe_3

Chemical formula: Fe_3C

Crystallographic parameters

Crystal system: Orthorhombic

Space group: Pnma

Space group number: 62

a (Å): 4.5170
 b (Å): 5.0790
 c (Å): 6.7300
 Alpha (°): 90.0000
 Beta (°): 90.0000
 Gamma (°): 90.0000

Measured density (g/cm³): 7.67
 Volume of cell (10⁶ pm³): 154.40
 Z: 4.00

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	2	3.36000	26.507	20.0
2	1	1	1	3.01000	29.655	20.0
3	0	2	0	2.53000	35.452	50.0
4	1	1	2	2.38000	37.768	60.0
5				2.37000	37.934	60.0
6	2	0	0	2.25000	40.041	60.0
7				2.21000	40.798	60.0
8	1	2	1	2.10000	43.038	80.0
9	2	1	0	2.06000	43.917	80.0
10	0	2	2	2.02000	44.833	80.0
11	1	0	3	2.01000	45.068	100.0
12	2	1	1	1.97000	46.035	80.0
13	1	1	3	1.87000	48.652	60.0
14	1	2	2	1.85000	49.212	80.0
15	2	1	2	1.76000	51.911	60.0
16	0	0	4	1.68000	54.582	60.0
17				1.61000	57.168	40.0
18	1	0	4	1.58000	58.357	60.0
19	1	2	3	1.57000	58.765	20.0
20	1	3	1	1.54000	60.026	40.0
21	2	2	2	1.51000	61.345	40.0
22	1	1	4	1.50000	61.799	40.0
23	0	2	4	1.40000	66.763	40.0
24	2	0	4	1.35000	69.583	20.0
25	1	2	4	1.34000	70.178	40.0
26				1.32000	71.403	80.0
27	1	0	5	1.29000	73.330	40.0
28	3	0	3	1.25000	76.084	40.0
29				1.22000	78.306	80.0
30	3	2	2	1.21000	79.079	80.0

19. JCPDS Card No.00-005-0707

Date: 7/19/2017 Time: 8:33:48 AM User: Teknik Material

Name and formula

Reference code: 00-005-0707
 Compound name: Iron Chromium
 Common name: σ -Fe Cr
 Empirical formula: CrFe
 Chemical formula: FeCr

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1				2.36000	38.101	5.0

Date: 7/19/2017 Time: 8:33:48 AM User: Teknik Material

File

2				2.32300	38.731	5.0
3				2.26800	39.710	5.0
4				2.12700	42.465	100.0
5				2.06700	43.760	20.0
6				2.02000	44.833	20.0
7				1.96800	46.085	50.0
8				1.92600	47.150	100.0
9				1.88200	48.322	50.0
10				1.83600	49.613	5.0
11				1.76200	51.847	5.0
12				1.32100	71.340	20.0
13				1.29500	73.000	5.0
14				1.25300	75.870	100.0
15				1.24000	76.809	5.0
16				1.23500	77.177	100.0
17				1.22900	77.624	20.0
18				1.22400	78.001	20.0
19				1.21800	78.459	20.0
20				1.20500	79.472	100.0
21				1.19800	80.030	50.0
22				1.18600	81.007	20.0
23				1.17500	81.926	20.0

20. JCPDS Card No.00-014-0519

Date: 7/19/2017 Time: 8:42:43 AM User: Teknik Material

Name and formula

Reference code: 00-014-0519

Compound name: Chromium Carbide

Empirical formula: CCr_2

Chemical formula: Cr_2C

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1				3.20000	27.858	5.0
2	1	0	0	2.40000	37.442	20.0
3	0	0	2	2.22000	40.606	30.0
4	1	0	1	2.11400	42.739	100.0
5	1	0	2	1.63400	56.253	50.0
6	1	1	0	1.39400	67.089	60.0
7	1	0	3	1.26600	74.955	80.0
8	1	1	2	1.18300	81.255	100.0
9	2	0	1	1.16600	82.697	100.0

21. JCPDS Card No.00-003-1049

Name and formula

Reference code:	00-003-1049
Mineral name:	Kamacite (NR)
Compound name:	Iron Nickel
Empirical formula:	FeNi
Chemical formula:	FeNi

Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
a (Å):	2.8590
b (Å):	2.8590
c (Å):	2.8590
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	2.02000	44.833	100.0
2	2	0	0	1.43000	65.186	60.0
3	2	1	1	1.17000	82.352	100.0

BIODATA PENULIS



Rifqi Tanyo Putra lahir di Bogor, Jawa Barat, pada hari Sabtu, 30 April 1994. Penulis merupakan putra ke-2 dari tiga bersaudara dari Bapak Christantio dan Ibu Adolina Iriani. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Al-Muslihien Bogor, SDN Polisi 5 Bogor, SMPN 2 Bogor, dan SMAN 2 Bogor. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan perguruan tingginya di Departemen Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2013.

Selama berkuliah di ITS, penulis juga aktif di beberapa kegiatan ekstrakurikuler, diantaranya di Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) FTI-ITS sebagai Staff divisi produksi Badan Semi Otonom kewirausahaan (2014-2015) dan Kepala divisi produksi BSO-KWU (2015-2016). Masa perkuliahan penulis akhiri dengan melakukan penelitian Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Tekanan Gas Pada Metode *Thermal Arc Spray* Terhadap Sifat Mekanik Dan Morfologi Pelapisan FeCrMnNiCSi Pada *Grey Cast Iron* FC 25.”

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. PGN Saka Indonesia Gresik pada bulan Agustus-September 2016. Selama kerja praktek penulis mendalami topik terkait “Studi Perancangan Aplikasi Pengendalian korosi Menggunakan Teknik Impressed Current Cathodic Protection dan Sacrificial Anode Cathodic Protection”. Penulis dapat dihubungi melalui 08989414449 dan email rifqitanyoputra@gmail.com.